

Universitat de Lleida  
Escola Politècnica Superior  
Enginyeria Tècnica Industrial, especialitat en Mecànica

Projecte de final de carrera

**Planificació del procés de producció en sèrie d'un  
silenciós d'escapament per a un turisme de gamma  
mitjana**

Autor: Oscar Padilla Gonzalez

Director: Xavier Biela Pàmies

Codirector: Joan Roca Enrich

Juliol de 2007

# ÍNDEX GENERAL



# 1 ÍNDEX DE CONTINGUTS

<b>MEMÒRIA</b>	25
<b>ÍNDEX DE LA MEMÒRIA</b>	27
<b>1 OBJECTE</b>	31
1.1 Objectius	31
1.2 Justificació	31
<b>2 ABAST</b>	32
<b>3 ANTECEDENTS</b>	33
<b>3.1 Estudi de mercat de la competència</b>	33
3.1.1 PDR Racing Tuning	33
3.1.2 Don Silencioso	36
3.1.3 Sebring	40
3.1.4 Supersprint	43
3.1.5 DynoMax	48
<b>3.2 Anàlisis de materials</b>	53
3.2.1 Material de construcció: acer inoxidable	53
3.2.2 Material absorbent: llana de vidre	62
3.2.3 Material elàstic: cautxú E.P.D.M.	71
<b>3.3 Estudi dels diferents processos productius</b>	73
3.3.1 Procés de tall	74
3.3.1.1 Operacions de tall convencional	74
3.3.1.1.1 Operacions de tall mecànic	74
3.3.1.2 Operacions de tall no convencional	83
3.3.1.2.1 Tall de xapa per làser	84
3.3.1.2.2 Tall de xapa mitjançant oxitall	89
3.3.1.2.3 Tall per plasma	95
3.3.1.2.4 Tall per aigua	99
3.3.1.2.5 Problemàtica del tall de xapa i generació de trajectòries	104
3.3.1.3 Comparació entre els diferents sistemes de tall	116
3.3.1.3.1 Diferències fonamentals entre els processos	116



3.3.1.3.2 Aplicacions i usos típics dels processos.....	117
3.3.1.3.3 Inversió inicial i costos mitjans d'operació.....	118
3.3.1.3.4 Precisió del procés.....	119
3.3.1.3.5 Consideracions de seguretat i espai operacional.....	120
3.3.2 Procés d'embotit.....	121
3.3.2.1 Fonaments teòrics del procés.....	121
3.3.2.2 Eines necessàries per al procés.....	124
3.3.2.3 Factors involucrats al procés.....	125
3.3.2.4 Alternatives del procés d'embotit.....	129
3.3.2.5 Defectes d'embotit.....	130
3.3.2.6 Càlcul dels elements.....	131
3.3.3 Procés de punxonat.....	133
3.3.3.1 Introducció.....	133
3.3.3.2 Anàlisi del procés de punxonat.....	134
3.3.4 Procés d'unió per soldadura.....	143
3.3.4.1 Fonaments de la soldadura.....	143
3.3.4.2 Conceptes de la tecnologia de la soldadura.....	144
3.3.4.3 Processos de soldadura.....	156
3.3.4.4 Soldadura dels acs inoxidable.....	189
3.3.5 Agrafat de xapes metàl·liques.....	194
3.3.5.1 Agrafat longitudinal.....	194
3.3.5.2 Agrafat doble.....	196
3.3.5.3 Defectes comuns en la fabricació d'agrafats.....	204
3.3.6 Operacions de plegat.....	210
3.3.6.1 Plegat en V i plegat de marges.....	210
3.3.6.2 Anàlisi d'enginyeria del plegat.....	211
3.3.6.3 Altres operacions de plegat.....	216
3.3.7 Producció de forats en tubs.....	218
3.3.7.1 La penetració de tubs.....	218
3.3.7.2 El punxonat de tubs.....	220
3.3.7.3 Comparació entre les operacions de penetració i punxonat.....	222
3.3.8 Acabats d'extrems de tubs.....	223
3.3.8.1 Expansió d'extrems de tubs.....	224
3.3.8.2 Ranurat d'extrems de tubs.....	224
3.3.8.3 Arrodoniment d'extrems de tubs.....	225
3.3.9 Injecció de plàstic.....	226
3.3.9.1 La màquina d'injecció.....	226
3.3.9.2 El cicle d'injecció.....	230
3.3.9.3 Duració del cicle d'injecció.....	232

<b>4 NORMES I REFERÈNCIES.....</b>	<b>235</b>
<b>4.1 Homologació del disseny.....</b>	<b>235</b>
4.1.1 Definicions.....	235
4.1.2 Sol·licitud de l'homologació CE.....	235
4.1.3 Homologació CE.....	237
4.1.4 Concessió de l'homologació CE.....	247
4.1.5 Marca d'homologació CE.....	251
<b>4.2 Bibliografia i fonts d'informació.....</b>	<b>252</b>
<b>4.3 Programes de càlcul utilitzats.....</b>	<b>253</b>
 <b>5 SÍMBOLS UTILITZATS.....</b>	 <b>254</b>
 <b>6 FABRICACIÓ DE LES PECES I CÀLCULS NECESSARIS.....</b>	 <b>255</b>
<b>6.1 Carcassa.....</b>	<b>256</b>
6.1.1 Estudi de l'agrafat longitudinal.....	257
6.1.2 Càlcul de la grandària de la xapa necessària.....	258
6.1.3 Plec de preparació per l'agrafat doble.....	264
<b>6.2 Tapes.....</b>	<b>267</b>
6.2.1 Estudi de l'agrafat doble de les tapes i la carcassa.....	268
6.2.2 Càlcul de la grandària dels retalls de xapa.....	269
6.2.3 Paràmetres de l'embotició.....	272
6.2.4 Estudi de l'acoblament de les tapes amb la carcassa.....	272
<b>6.3 Parets interiors.....</b>	<b>277</b>
6.3.1 Estudi del procés d'embotició.....	278
6.3.2 Càlcul de la secció inicial.....	279
<b>6.4 Tubs.....</b>	<b>281</b>
6.4.1 Tallat dels tubs.....	281
6.4.2 Punxonat dels tubs.....	282
6.4.3 Ranurat de l'extrem del tub d'entrada.....	282
6.4.4 Arrodoniment de l'extrem del tub de sortida.....	282
<b>6.5 Sistema d'ancoratge.....</b>	<b>284</b>
6.5.1 Base metàl·lica.....	284
6.5.2 Peces de cautxú.....	286
6.5.3 Barretes d'acer inoxidable.....	287
6.5.4 Cargols.....	287

<b>7 MUNTATGE DE LES PECES DINS DEL SILENCIÓS.....</b>	<b>288</b>
7.1 Muntatge de les peces interiors.....	288
7.2 Col·locació de les peces interiors a la carcassa.....	290
7.3 Introducció del material absorbent.....	292
7.4 Col·locació de les tapes de la carcassa.....	294
7.5 Soldadura dels tubs amb les tapes.....	298
7.6 Soldat de les barretes d'ancoratge.....	299
7.7 Empaquetat del producte.....	300
 <b>8 ESTUDI DE LES INSTAL·LACIONS I DE LES</b>	
<b>CONSIDERACIONS QUE ES NECESSITEN PER</b>	
<b>ACOLLIR EL PROCÉS PRODUCTIU.....</b>	<b>301</b>
8.1 Estudi del flux de producció.....	303
8.2 Situació recomanada de la maquinària.....	306
8.3 Característiques recomanades de la fàbrica.....	308
8.4 Personal recomanat pel desenvolupament de l'activitat.....	308
8.5 Estimació del rendiment de la producció.....	310
8.5.1 Temps de realització de les operacions.....	310
8.5.2 Temps d'operació de cada treballador.....	313
8.5.3 Temps de fabricació de cada unitat.....	315
 <b>ANNEXES.....</b>	<b>319</b>
 <b>ÍNDEX DELS ANNEXES.....</b>	<b>321</b>
 <b>ANNEX 1: MAQUINÀRIA.....</b>	<b>323</b>
<b>1 Maquinària convencional a utilitzar.....</b>	<b>323</b>
1.1 Talladora de xapa.....	323

1.2	Prensa d'embotició.....	325
1.3	Soldadura per punts.....	327
1.4	Soldadura manual TIG.....	329
1.5	Plegadora de xapa.....	330
1.6	Corbadora de barretes.....	332
1.7	Talladora de tubs.....	334
1.8	Punxonadora de tubs.....	338
1.9	Ranuradora d'extrems de tubs.....	339
1.10	Màquina per arrodonir extrems de tubs.....	340
<b>2</b>	<b>Maquinària específica per la producció de silenciosos.....</b>	<b>342</b>
2.1	Agrafadora longitudinal automatitzada.....	342
2.2	Eixampladora dels extrems de la carcassa.....	344
2.3	Màquina de muntatge i introducció de les peces interiors.....	346
2.4	Soldadora de les parets interiors.....	349
2.5	Agrafadora doble vertical.....	350
2.6	Taula de soldadura rotativa.....	353
<b>ANNEX 2:</b>	<b>CATÀLEGS.....</b>	<b>355</b>
<b>1</b>	<b>Acer inoxidable.....</b>	<b>355</b>
<b>2</b>	<b>Llana de vidre.....</b>	<b>357</b>
<b>3</b>	<b>Abraçadora.....</b>	<b>359</b>
<b>4</b>	<b>Barretes.....</b>	<b>360</b>
<b>5</b>	<b>Cargols.....</b>	<b>361</b>
<b>6</b>	<b>Femelles de cargol.....</b>	<b>365</b>
<b>7</b>	<b>Sistemes d'empaquetat.....</b>	<b>366</b>
<b>PLÀNOLS.....</b>		<b>369</b>
<b>ÍNDEX DELS PLÀNOLS.....</b>		<b>371</b>
<b>PLÀNOLS DEL DISSENY ORIGINAL DEL SILENCIÓS.....</b>		<b>373</b>
1	Carcassa .....	375
2	Paret exterior davantera .....	377
3	Paret exterior posterior .....	379
4	Paret interior 1 .....	381
5	Paret interior 2 .....	383

<b>PLÀNOLS DEFINITIUS DE FABRICACIÓ .....</b>	<b>385</b>
1 Operació 1 de la carcassa (agrafat longitudinal) .....	387
2 Operació 2 de la carcassa (plegament de preparació per l'agrafat doble amb les tapes) .....	389
3 Tapa exterior davantera (geometria de tall) .....	391
4 Tapa exterior davantera (operació prèvia a l'agrafat) .....	393
5 Tapa exterior posterior (geometria de tall) .....	395
6 Tapa exterior posterior (operació prèvia a l'agrafat) .....	397
7 Paret interior 1 (geometria de tall de la xapa) .....	399
8 Paret interior 1 (peça acabada) .....	401
9 Paret interior 2 (geometria de tall de la xapa) .....	403
10 Paret interior 2 (peça acabada) .....	405
11 Tub d'entrada.....	407
12 Tub de sortida.....	409
13 Silenciós en conjunt.....	411
14 Silenciós en explosió.....	413
15 Base de subjecció (geometria de tall) .....	415
16 Base de subjecció (peça acabada) .....	417
17 Element intermedi d'unió.....	419
18 Muntatge dels ancoratges.....	421
19 Proposta de fàbrica per desenvolupar l'activitat.....	423
20 Flux de producció dins de la fàbrica.....	425
21 Moviment dels operaris dins de la fàbrica.....	427
 <b>PLEC DE CONDICIONS.....</b>	 <b>429</b>
 <b>ÍNDEX DEL PLEC DE CONDICIONS.....</b>	 <b>431</b>
 <b>1 CONDICIONS DELS MATERIALS.....</b>	 <b>433</b>
1.1 Elements constructius.....	433
1.2 Especificacions dels materials.....	434
1.2.1 Qualitats.....	434
1.2.2 Quantitats.....	434
 <b>2 NORMATIVA APLICABLE.....</b>	 <b>435</b>
 <b>3 PLEC DE CONDICIONS DE LA FASE DE MATERIALITZACIÓ.....</b>	 <b>438</b>
3.1 Fabricació de les peces.....	438

3.2 Muntatge de les peces i elements del Silenciós.....	438
3.3 Instal·lació del silenciós al vehicle.....	438
 <b>ESTAT D'AMIDAMENTS.....</b>	 441
 <b>ÍNDEX DE L'ESTAT D'AMIDAMENTS.....</b>	 443
 <b>1 MATERIAL DE FABRICACIÓ DEL SILENCIÓS.....</b>	 445
 <b>2 MAQUINÀRIA PER LA FABRICACIÓ.....</b>	 447
 <b>PRESSUPOST.....</b>	 449
 <b>ÍNDEX DEL PRESSUPOST.....</b>	 459
 <b>1 MATERIAL DE FABRICACIÓ DEL SILENCIÓS.....</b>	 453
1.1 Pressupost del material de fabricació total .....	454
 <b>2 PRESSUPOST D'INSTAL·LACIÓ DE LA MAQUINÀRIA.....</b>	 455
2.1 Pressupost total d'instal·lació de maquinària.....	456
 <b>3 ESTUDI DE VIABILITAT ECONÒMICA</b>	
3.1 Benefici de fabricació del producte.....	457
3.2 Despeses generades pel procés productiu.....	458
3.2.1 Consum elèctric.....	458
3.2.2 Lloguer de la nau.....	460
3.2.3 Adquisició de la maquinària i altres elements.....	460
3.2.4 Salaries dels treballadors.....	464
3.2.5 Altres despeses existents.....	464
3.2.6 Despesa total.....	465
3.3 Benefici net de la fabricació.....	465

<b>ESTUDIS AMB ENTITAT PRÒPIA.....</b>	<b>467</b>
<b>ÍNDEX DELS ESTUDIS AMB ENTITA PRÒPIA.....</b>	<b>469</b>
<b>PREVENCIÓ DE RISCOS LABORALS.....</b>	<b>471</b>
<b>1 Seguretat i salut en els llocs de treball.....</b>	<b>471</b>
1.1 Espais de treball.....	471
1.2 Envans, finestres i obertures.....	472
1.3 Vies de circulació.....	472
1.4 Portes.....	472
1.5 Vies i sortides d'evacuació.....	473
1.6 Condicions de protecció contra incendis.....	473
1.7 Instal·lació elèctrica.....	474
1.8 Il·luminació dels llocs de treball.....	474
1.9 Serveis higiènics i locals de descans.....	475
1.10 Locals de descans.....	475
1.11 Materials i locals de primers auxilis.....	476
<b>2 Seguretat en màquines.....</b>	<b>476</b>
2.1 Definicions.....	476
2.2 Exigències de la normativa sobre les màquines i components de seguretat.....	478
2.3 Legislació.....	480
<b>3 El soroll.....</b>	<b>480</b>
3.1 Avaluació de l'exposició al soroll.....	481
3.2 Mesures a adoptar.....	481
3.3 Protectors auditius.....	482
<b>4 Exposicions a agents.....</b>	<b>482</b>
4.1 Partícules en suspensió.....	483
4.2 Gasos de soldadura.....	483
<b>5 Seguretat i salut en la utilització d'equips de protecció individual.....</b>	<b>484</b>
5.1 Obligacions de l'empresari.....	484
5.2 Obligacions i drets dels treballadors.....	484
<b>6 Senyalització.....</b>	<b>485</b>
6.1 Senyals visuals.....	486
6.2 Senyals audibles.....	488
6.3 Senyals tàctils.....	488
6.4 Codificació de la informació.....	488
6.5 Senyals de seguretat.....	490
<b>7 Disseny ergonòmic del treball i les tasques.....</b>	<b>496</b>
7.1 Disseny correcte del treball.....	497
7.2 Principis de disseny de les tasques.....	498

## 2 ÍNDEX DE FIGURES

### MEMÒRIA

### 3 ANTECEDENTS

Fig 3.1 Col·lector d'escapament.....	33
Fig 3.2 Tubs d'acoblament .....	33
Fig 3.3 Diferents tipus de silenciosos .....	34
Fig 3.4 Un dels nous models de silenciós universals .....	34
Fig 3.5 Arc de seguretat en un automòbil.....	35
Fig 3.6 Reforç de suspensió.....	35
Fig 3.7 Coche restaurat per PDR .....	35
Fig 3.8 Don Silencioso .....	36
Fig 3.9 Cues d'escapament .....	37
Fig 3.10 Escapaments.....	38
Fig 3.11 Fabrica de Sebring.....	40
Fig 3.12 Banc de proves .....	41
Fig 3.13 Silenciosos per a motos .....	42
Fig 3.14 Silenciosos per a cotxes .....	42
Fig 3.15 Peces fabricades per Supersprint.....	43
Fig 3.16 Col·lector d'escapament.....	45
Fig 3.17 Silenciós esportiu .....	46
Fig 3.18 Silenciosos per a cotxes de carrer .....	46-47
Fig 3.19 Silenciosos per a cotxes de competició.....	47
Fig 3.20 Seu de DynoMax .....	48
Fig 3.21 Maquinària .....	48
Fig 3.22 Silenciós Ultra Flo™ .....	49
Fig 3.23 Silenciós soldat UltraFlo™ .....	49
Fig 3.24 Silenciós Super Turbo™ .....	49
Fig 3.25 Bala .....	50
Fig 3.26 Col·lector.....	50
Fig 3.27 Silenciosos d'importació.....	50
Fig 3.28 Cua d'escapament .....	51
Fig 3.29 Tub especial .....	51
Fig 3.30 Accessoris i eines .....	51
Fig 3.31 Col·lector d'escapament.....	51
Fig 3.32 Súper convertidor .....	51
Fig 3.33 Thrush Turbo.....	52
Fig 3.34 Thrush Glasspack .....	52
Fig 3.35 Exemples d'aplicacions dels acers inoxidables austenítics .....	56
Fig 3.36 Diferents llanes de vidre.....	63
Fig 3.37 Procés productiu de la llana de vidre .....	64
Fig 3.38 Fibració de la llana .....	64
Fig 3.39 Curat de la llana .....	65
Fig 3.40 Diferents acabats de la llana de vidre.....	65
Fig 3.41 Emmagatzematge del producte .....	65



Fig 3.42 Operaris col·locant feltres de llana de vidre .....	66
Fig 3.43 Gràfic on s'expressa la conductivitat tèrmica dels feltres .....	68
Fig 3.44 Operari manipulant borra .....	68
Fig 3.45 Gràfic que expressa la conductivitat tèrmica de la borra .....	70
Fig 3.46 Cisallat d'una làmina metàl·lica.....	75
Fig 3.47 Vores cisallades característiques del material de treball.....	76
Fig 3.48 Operació de cisallat .....	76
Fig 3.49 (a) Punxonat i (b) perforat.....	77
Fig 3.50 Efecte del clar.....	77
Fig 3.51 Dau i punxó .....	78
Fig 3.52 Clar angular .....	79
Fig 3.53 (a) Tall en trossos i (b) partit.....	80
Fig 3.54 (a) Ranurat, (b) perforat múltiple, (c) moscat i semimoscat. El símbol v indica velocitat .....	81
Fig 3.55 Rasurat i punxonat fi .....	82
Fig 3.56 Modelat representatiu del procés de tall.....	84
Fig 3.57 Cèl·lula de tall robotitzada .....	86
Fig 3.58 Cèl·lula de tall làser de CO2 .....	86
Fig 3.59 Robot amb làser de tall transmès per fibra òptica .....	88
Fig 3.60 Armari de control comunicat amb la cèl·lula de tall .....	88
Fig 3.61 Quatre bufadors treballant simultàniament sobre la mateixa xapa .....	89
Fig 3.62 Màquina d'oxitall. Detall del pòrtic amb varis bufadors .....	93
Fig 3.63 Així és com era el tallador de plasma al 1980 .....	95
Fig 3.64 El plasma el podem trobar als llamps .....	97
Fig 3.65 Interior d'un tallador de plasma.....	97
Fig 3.66 Parts d'un tallador de plasma.....	98
Fig 3.67 Tallador de plasma amb control numèric.....	98
Fig 3.68 Peces obtingudes amb tall per aigua .....	99
Fig 3.69 Injector de raig d'aigua .....	99
Fig 3.70 Diagrama de raig abrasiu .....	100
Fig 3.71 Injector sense protecció.....	100
Fig 3.72 Típic injector de raig d'aigua .....	100
Fig 3.73 Injector de raig abrasiu.....	100
Fig 3.74 Dragó mecanitzat en un vidre a prova de bales de 2,5 mm de gruix, i en una placa de marbre.....	102
Fig 3.75 Màquina de tall per aigua .....	103
Fig 3.76 Generació de bucles en cantons .....	107
Fig 3.77 Programació de diferents tipus d'entrades i sortides sobre un perfil .....	108
Fig 3.78 Programació de ponts exteriors i interiors .....	109
Fig 3.79 Correcta elecció del punt d'entrada i del sentit de recorregut per a evitar distorsions en la xapa .....	109
Fig 3.80 Trajectòries de tall per a extreure la peça.....	110
Fig 3.81 Canvi del sentit de recorregut per a permetre la inspecció del treball .....	111
Fig 3.82 Programació de trajectòries amb inici del tall sobre perforacions prèvies.....	111
Fig 3.83 Detall de la zona d'entrada al tall en mitjans i grans espessors .....	111
Fig 3.84 Trajectòries per al tall de peces adossades .....	112
Fig 3.85 Preparació de xamfrans o juntes per a soldadura .....	112
Fig 3.86 Perfils resultant preparats per a soldadura.....	113
Fig 3.87 Punts significatius per a la programació CN.....	113

Fig 3.88 Distàncies de seguretat a la vora de la xapa i trajectòries de sortida per a obtenir un retall .....	114
Fig 3.89 Diferents tipus d'embotició .....	121
Fig 3.90 Repartició del metall en l'embotició cilíndrica .....	122
Fig 3.91 Embotició cilíndrica, anàlisi d'esforços .....	122
Fig 3.92 Diagrama per a la comprovació del percentatge de reducció en l'embotit de tapes .....	126
Fig 3.93 Esforç d'embotició .....	127
Fig 3.94 Determinació dels radis del punxó i de la matritz .....	131
Fig 3.95 Diametres primitius a l'embotit de peces cilíndriques.....	132
Fig 3.96 Esquema del punxonat .....	133
Fig 3.97 Etapes del punxonat .....	134
Fig 3.98 Característiques de la vora de tall amb joc normal .....	135
Fig 3.99 Posició relativa de les esquerdes segons el joc .....	135
Fig 3.100 Influència del joc de tall J sobre la força de tall.....	136
Fig 3.101 Resistència de tall per punxonat segons el joc .....	137
Fig 3.102 Efecte del diàmetre del punxó en la resistència al punxonat.....	138
Fig 3.103 Afilats especials del punxó.....	139
Fig 3.104 Desgast del punxó i matriu.....	140
Fig 3.105 Factors que afecten als defectes geomètrics de les peces punxonades .....	140
Fig 3.106 Variació de l'altura de la rebaba amb el nombre de cops .....	142
Fig 3.107 Fonaments de la soldadura amb arc elèctric.....	144
Fig 3.108 Cinc tipus bàsics d'unions.....	147
Fig 3.109 Diverses formes de soldadura de filet .....	148
Fig 3.110 Algunes soldadures amb bisell típiques .....	148
Fig 3.111 (a) Soldadura amb inserit i (b) soldadura en ranura .....	149
Fig 3.112 (a) Soldadura de punts i (b) soldadura engalzada .....	149
Fig 3.113 (a) Soldadura en flanc i (b) Soldadura en superfície.....	150
Fig 3.114 Secció transversal d'una junta soldada per fusió comú.....	154
Fig 3.115 Configuració bàsica i circuit elèctric d'un procés de soldadura amb arc elèctric .....	156
Fig 3.116 Soldadura metàl·lica amb arc protegit (soldadura de vareta) executada per un soldador .....	163
Fig 3.117 Soldadura metàl·lica amb arc protegit (SMAW).....	163
Fig 3.118 Soldadura metàl·lica amb arc elèctric i gas (GMAW) .....	165
Fig 3.119 Pistola per a soldadura metàl·lica amb arc i gas.....	165
Fig 3.120 Operació realitzada mitjançant el procés MIG.....	165
Fig 3.121 Diagrama esquemàtic de l'equip MIG .....	169
Fig 3.122 Equip per a soldadura MIG .....	169
Fig 3.123 Soldador executant el procés.....	170
Fig 3.124 Soldadura amb arc submergit.....	171
Fig 3.125 Diagrama esquemàtic de l'equip per a arc submergit .....	172
Fig 3.126 Utilització del procés de soldadura per arc submergit en el muntatge de perfils tipus "I" soldats.....	173-174
Fig 3.127 Soldadura de tungstè amb arc elèctric i gas .....	175
Fig 3.128 El Gas "El escut protector". El escut de gas que expulsa la torxa és molt important per assegurar soldadures de qualitat .....	177
Fig 3.129 Soldadura d'arc de plasma (PAW).....	177
Fig 3.130 Maquinària emprada per a la soldadura per arc de plasma .....	177

Fig 3.131 Soldadura per resistència mostrant els components en la soldadura de punts .....	178
Fig 3.132 Maquinària emprada per a realitzar el procés de soldadura per resistència .....	179
Fig 3.133 (a) Passos en un cicle de soldadura de punts, i (b) gràfica de la força de pressió i el corrent durant el Cicle .....	181-182
Fig 3.134 a) Màquina de soldadura de punts amb balancí .....	183
Fig 3.135 b) Operaris fent servir la màquina .....	183
Fig 3.136 Soldadura d'engalzat per resistència (RSEW) .....	184
Fig 3.137 Diferents tipus d'engalzats produïts per rodes d'elèctrodes .....	185
Fig 3.138 Soldadura per projecció (RPW) .....	186
Fig 3.139 Dues variables de soldadura per projecció .....	186
Fig 3.140 Una operació típica de soldadura amb oxiacetilè (OAW) .....	187
Fig 3.141 La flama neutral d'un bufador d'oxiacetilè indicant les temperatures obtingudes .....	188
Fig 3.142 Agrafats simples i dobles .....	194
Fig 3.143 Alguns productes fabricats mitjançant agrafat .....	195
Fig 3.144 Seqüència de formació de l'agrafat longitudinal d'una carcassa .....	195
Fig 3.145 Terminologia general de l'agrafat doble .....	197
Fig 3.146 Terminologia dimensional de l'agrafat doble .....	197
Fig 3.147 Disseny bàsic de l'agrafat doble .....	196
Fig 3.148 Posició dels elements a l'inici de l'agrafat doble .....	196
Fig 3.149 Posicionament dels elements després de la primera operació .....	199
Fig 3.150 Posició dels elements després de la segona operació. Agrafat finalitzat ....	199
Fig 3.151 Solapat i entroncament del ganxo del cos .....	201
Fig 3.152 Detall del doblec de pressió .....	202
Fig 3.153 Exemples de penjolls i "V"s en agrafats .....	204
Fig 3.154 Exemple d'agrafat puntegut i tall .....	205
Fig 3.155 Bonys en agrafats .....	206
Fig 3.156 Cap mort en un agrafat .....	207
Fig 3.157 Exemples d'agrafats falsos .....	208
Fig 3.158 Agrafat trencat .....	209
Fig 3.159 Plegat de làmina metàl·lica .....	210
Fig 3.160 Dos mètodes comuns de plegat .....	210
Fig 3.161 Desfogament de plegat .....	212
Fig 3.162 Càlcul de la longitud del plec amb mides interiors .....	212
Fig 3.163 Càlcul de la longitud del plec amb mides exteriors .....	212
Fig 3.164 Càlcul de les folgances de plegament .....	213
Fig 3.165 Gràfic per a calcular el factor K .....	213
Fig 3.166 Recuperació elàstica en el plegat .....	214
Fig 3.167 Dimensió de l'obertura del dau D .....	215
Fig 3.168 Format de brides .....	216
Fig 3.169 (a) Doblec, (b) agrafat (entroncament) i (c) vorejat .....	217
Fig 3.170 Operacions miscel·lànies de plegat .....	217
Fig 3.171 Exemples de tubs foradats .....	218
Fig 3.172 Els diferents mètodes de penetració i punxonat produeixen diferents condicions del forat .....	219
Fig 3.173 Amb guies intercanviables una eina de penetració de tubs pot ser utilitzada tant per operacions de clot simple com de clot doble .....	219
Fig 3.174 Punxonat de tubs .....	220

Fig 3.175 Una eina de punxonat simple pot produir forats múltiples amb un pern de subjecció .....	221
Fig 3.176 Una estació de punxonat doble utilitza dos cilindres d'aire-oli per produir forats passants nets, sense clot.....	222
Fig 3.177 Eines utilitzades en la perforació de tubs .....	222
Fig 3.178 Diferents acabats en extrems de tubs .....	223
Fig 3.179 Extrems de tubs expandits.....	224
Fig 3.180 Ranures en extrems de tubs.....	224
Fig 3.181 Tub amb múltiples ranures a l'extrem.....	225
Fig 3.182 Extrem de tub arrodonit .....	225
Fig 3.183 Màquina d'injecció de plàstic .....	226
Fig 3.184 Diferents sistemes de la unitat de tancament .....	227
Fig 3.185 Unitat d'injecció .....	227
Fig 3.186 Fenomen de plastificació.....	228
Fig 3.187 Tancament del motlle i inici de la injecció .....	230
Fig 3.188 Injecció del material .....	230
Fig 3.189 Aplicació de la pressió de sosteniment .....	231
Fig 3.190 Plastificació del material .....	231
Fig 3.191 Refredament y extracció de la peça.....	231
Fig 3.192 Consum de potència durant el cicle d'injecció .....	232

## 4 NORMES I REFERÈNCIES

Fig 4.1 Model de fitxa de característiques.....	236
Fig 4.2 Posicions dels micròfons per a les mesures del vehicle en marxa .....	238
Fig 4.3 Emplaçament per a la prova i posicions del micròfon per a la mesura del vehicle aturat .....	241
Fig 4.4 Punts de mesura. Contrapressió dels gasos d'escapament .....	244
Fig 4.5 Equip de prova per al condicionament per pulsacions .....	246
Fig 4.6 Model del certificat d'homologació .....	248-249
Fig 4.7 Símbol de l'Estat que estén l'homologació .....	250

## 6 FABRICACIÓ DE LES PECES I CÀLCULS NECESSARIS

Fig 6.1 Operacions de conformació de la carcassa.....	256
Fig 6.2 Modificació del disseny de l'agrafat original.....	257
Fig 6.3 Esquema frontal de la carcassa .....	258
Fig 6.4 Fibra neutra de la xapa exterior de la carcassa.....	259
Fig 6.5 Longituds de l'agrafat longitudinal obtingudes amb AutoCAD .....	260
Fig 6.6 Fibra neutra de la xapa interior de la carcassa .....	261
Fig 6.7 Longituds de l'agrafat longitudinal obtingudes amb AutoCAD .....	261
Fig 6.8 Esquema de la carcassa acabada.....	262
Fig 6.9 Longitud de la secció longitudinal de la xapa exterior .....	262
Fig 6.10 Longitud de la secció longitudinal de la xapa interior .....	263
Fig 6.11 Càlcul de la distància del plec .....	264
Fig 6.12 Mesures del plec de preparació per l'agrafat .....	265
Fig 6.13 Configuració definitiva de la peça després del plec .....	266

Fig 6.14	Modificació del disseny original de les tapes .....	267
Fig 6.15	Modificació del disseny original de l'agrafat doble.....	268
Fig 6.16	Longituds de la xapa exterior en la dimensió major .....	269
Fig 6.17	Longituds de la xapa exterior en la dimensió menor .....	270
Fig 6.18	Longituds de la xapa interior en la dimensió major .....	270
Fig 6.19	Longituds de la xapa interior en la dimensió menor .....	271
Fig 6.20	Forma final de les tapes.....	272
Fig 6.21	Carcassa abans de l'agrafat doble amb les tapes.....	273
Fig 6.22	Càlcul dels radis de les tapes.....	274
Fig 6.23	Mesures de la xapa exterior.....	275
Fig 6.24	Mesures de la xapa interior .....	275
Fig 6.25	Geometria definitiva de les tapes .....	276
Fig 6.26	Modificació del radi d'embotició de les tapes .....	278
Fig 6.27	Càlcul de la longitud de l'eix major de l'elipse .....	279
Fig 6.28	Càlcul de la longitud de l'eix menor de l'elipse .....	279
Fig 6.29	Fases de plegament de la base metàl·lica d'ancoratge .....	285

## 7 MUNTATGE DE LES PECES DINS DEL SILENCIÓS

Fig 7.1	Paret aïllada.....	289
Fig 7.2	Paret amb forat descentrat i tub de sortida .....	289
Fig 7.3	Paret amb forat centrat i tub d'entrada .....	290
Fig 7.4	Introducció de la paret intermitja .....	290
Fig 7.5	Introducció de la paret amb forat centrat i tub d'entrada .....	291
Fig 7.6	Introducció de la paret amb forat descentrat i tub de sortida .....	291
Fig 7.7	Conjunt després de la col·locació de les parets interiors.....	292
Fig 7.8	Retall de llana de vidre que es col·locarà a l'interior del silenciós .....	292
Fig 7.9	Plegament de la fibra a la forma aproximada de la cavitat .....	293
Fig 7.10	Detall de la col·locació de la fibra.....	293
Fig 7.11	Configuració final del silenciós després d'aquesta operació .....	294
Fig 7.12	Col·locació de una tapa a la matriu d'agrafat interior .....	295
Fig 7.13	Col·locació de la carcassa a sobre de la tapa.....	295
Fig 7.14	Col·locació de l'altra tapa .....	296
Fig 7.15	Funcionament de la màquina d'agrafat doble .....	297
Fig 7.16	Silenciós després de l'agrafat doble .....	297
Fig 7.17	Cordó de soldadura entre els tubs i les tapes.....	298
Fig 7.18	Conjunt amb les barretes d'ancoratge soldades .....	299

## 8 ESTUDI DE LES INSTAL·LACIONS I DE LES CONSIDERACIONS QUE ES NECESSITEN PER ACOLLIR EL PROCÉS PRODUCTIU

Fig 8.1	Flux productiu de la fabricació del silenciós .....	302
Fig 8.2	Flux productiu amb les màquines utilitzades .....	305
Fig 8.3	Temps de fabricació del silenciós .....	316

## ANNEXES

### ANNEX 1: MAQUINÀRIA

Fig 1.1	Logotip del fabricant trumpf .....	323
Fig 1.2	Trumatic L 3030.....	324
Fig 1.3	Exemple de tall de la màquina .....	324
Fig 1.4	Logotip de TJF GARNET .....	326
Fig 1.5	Prensa RVC 150 E .....	326
Fig 1.6	Soldador per punts Valmaira SPV-8 .....	328
Fig 1.7	Logotip del fabricant Miller .....	329
Fig 1.8	Miller Dynasty 700 .....	329
Fig 1.9	Logotip de Gasparini.....	330
Fig 1.10	Gasparini PSG-200.....	331
Fig 1.11	Utiltatge necessari per a la plegadora de xapa .....	332
Fig 1.12	Logotip de Ineco .....	332
Fig 1.13	Corbadora de barretes Ineco QBMS/3X .....	333
Fig 1.14	Detall d'algunes parts de la corbadora de barretes.....	333
Fig 1.15	Procediment de tall de la talladora de tubs.....	335
Fig 1.16	Logotip del fabricant trumpf .....	335
Fig 1.17	Tubematic RC .....	335
Fig 1.18	Esquema de la màquina.....	336
Fig 1.19	Detall del capçal de tall .....	336
Fig 1.20	Peces obtingudes amb la màquina.....	336
Fig 1.21	Logotip del fabricant Comas .....	338
Fig 1.22	Punxonadora de tubs Comas MC 0862 .....	338
Fig 1.23	Logotip del fabricant Comas .....	339
Fig 1.24	Comas Slotting Mc.....	340
Fig 1.25	Logotip del fabricant Comas .....	341
Fig 1.26	Comas MC R05 .....	341
Fig 1.27	Logotip del fabricant Upland Technologies.....	342
Fig 1.28	Up-1000 Lockseamer .....	343
Fig 1.29	Detall del funcionament de la màquina.....	343
Fig 1.30	Corrons d'agrafat .....	343
Fig 1.31	Logotip del fabricant Upland Technologies.....	344
Fig 1.32	Upland OSF-250 .....	345
Fig 1.33	Exemple de peces fabricades amb la màquina .....	345
Fig 1.34	Detall del capçal de la màquina.....	346
Fig 1.35	Logotip del fabricant Upland Technologies.....	347
Fig 1.36	Upland RST-500 .....	347
Fig 1.37	RST-500 .....	348
Fig 1.38	Logotip del fabricant Hao Thing.....	349
Fig 1.39	Soldadora de parets interiors MW-12 .....	349
Fig 1.40	Detall esquemàtic de la màquina.....	350
Fig 1.41	Logotip del fabricant Comas .....	351
Fig 1.42	Comas MC 05V2.....	351
Fig 1.43	Detall del funcionament de la màquina.....	358
Fig 1.44	Logotip del fabricant Comas .....	353
Fig 1.45	Comas MC OS20 .....	353



# ESTUDIS AMB ENTITAT PRÒPIA

## PREVENCIÓ DE RISCOS LABORALS

### 2 Seguretat en màquines

Fig 2.1 Marcatge CE.....	479
--------------------------	-----

### 6 Senyalització

Fig 6.1 Zones del camp vertical de visió.....	486
Fig 6.2 Zones del camp horitzontal de visió.....	487
Fig 6.3 Senyals de prohibició .....	492
Fig 6.4 Senyals d'advertència.....	493
Fig 6.5 Senyals d'obligació .....	494
Fig 6.6 Senyals de sortida d'emergència o de primers auxilis .....	495
Fig 6.7 Senyals de lluita contra incendis .....	496

## 3 ÍNDEX DE TAULES

### MEMÒRIA

#### 3 ANTECEDENTS

Taula 3.1 Sistema de quantificació de la resistència a la corrosió dels materials.....	60
Taula 3.2 Resistència a la corrosió dels acers inoxidables enfront d'alguns components dels gasos d'escapament .....	60
Taula 3.3 Composició de l'acer inoxidable AISI 304.....	61
Taula 3.4 Propietats mecàniques i físiques de l'acer inoxidable AISI 304.....	61
Taula 3.5 Dimensions dels feltres de llana .....	66
Taula 3.6 Resistència tèrmica dels feltres .....	67
Taula 3.7 Absorció acústica dels feltres de llana de vidre.....	67
Taula 3.8 Dimensions de la borra.....	69
Taula 3.9 Característiques tècniques de diferents tipus de cautxú EPDM .....	71-72
Taula 3.10 Tolerància dels metalls .....	78
Taula 3.11 Valors recomanats per a oxicall en funció del material .....	90
Taula 3.12 Valors recomanats per a oxicall en funció de la sagnia de tall .....	91
Taula 3.13 diferents materials que es poden tallar amb els dos sistemes .....	100
Taula 3.14 Diferències fonamentals entre els processos de tall .....	116
Taula 3.15 Aplicacions i usos típics dels processos de tall .....	117
Taula 3.16 Inversió inicial i costos mitjans d'operació .....	118
Taula 3.17 Precisió dels processos de tall .....	119
Taula 3.18 Consideracions de seguretat i espai operacional .....	120
Taula 3.19 Velocitats d'embotit màximes recomanades per a diferents materials .....	126
Taula 3.20 Pressions aproximades del trepitjador .....	127
Taula 3.21 Diferents factors que intervenen al punxonat .....	133
Taula 3.22 Inexactitud de posició dels forats per a diferents punxonadores.....	141
Taula 3.23 Comparació de varis processos de soldadura per fusió segons les seves densitats de potència.....	150
Taula 3.24 Temperatures de fusió sobre l'escala de Temperatura absoluta de metalls seleccionats .....	151
Taula 3.25 Classificació dels elèctrodes.....	159
Taula 3.26 Eficiències de transferència de calor per a varis processos de soldadura amb arc elèctric .....	162
Taula 3.27 Propietats d'alguns materials als que se'ls realitza soldadura per punts ....	182
Taula 3.28 Propietats físiques que influeixen en la soldadura entre l'acer al carboni i l'inoxidable de classe austenítica .....	189
Taula 3.29 Electrodes utilitzats a diferents tipus d'acers inoxidables.....	191
Taula 3.30 paràmetres i diferències d'ús entre els tres modes utilitzats en la soldadura d'acers inoxidables .....	192
Taula 3.31 Exemple d'una pauta d'agrafat doble per un fabricant de llaunes de conserva .....	203
Taula 3.32 Factor c per a càlculs de radis mínims.....	211



## 5 SÍMBOLS UTILITZATS

Taula 5.1 Símbols utilitzats al projecte .....	246
--	-----

## ANNEXES

### ANNEX 1: MAQUINÀRIA

Taula 1.1 Especificacions de la Trumatic L 3030 .....	325
Taula 1.2 Especificacions de la Valmaira SPV-8.....	328
Taula 1.3 Especificacions de Dynasty 700.....	330
Taula 1.4 Especificacions de Gasparini PSG-200.....	331
Taula 1.5 Especificacions de la Ineco QBMS/3X.....	334
Taula 1.6 especificacions de la Trumpf Tubematic RC .....	337
Taula 1.7 Especificacions de Comas MC 0862.....	339
Taula 1.8 Especificacions de Comas Slotting Mc .....	340
Taula 1.9 Especificacions de Comas MC R05 .....	341
Taula 1.10 Especificacions de la UP-1000 Lockseamer .....	344
Taula 1.11 Especificacions de OSF-250.....	346
Taula 1.12 Especificacions de la RST-500.....	348
Taula 1.13 Especificacions de la Hao Thing MW-12 .....	350
Taula 1.14 Especificacions de Comas MC 05V2.....	352
Taula 1.15 Especificacions de Comas MC OS20.....	354

### ANNEX 2: CATÀLEGS

Taula 2.1 Tarifes de tubs d'acer inoxidable .....	355
Taula 2.3 Tarifes de bobines d'acer inoxidable laminades en fred .....	356
Taula 2.4 Especificacions d'alguns feltres de llana de vidre.....	357
Taula 2.5 Especificacions de la borra de llana de vidre .....	358
Taula 2.6 Especificacions d'una coquilla de llana de vidre .....	358
Taula 2.7 Especificacions de l'abraçadora metàl·lica per a la unió amb el tub d'escapament del vehicle.....	359
Taula 2.8 Característiques de barretes d'acer inoxidable .....	360
Taula 2.9 Especificacions dels cargols de subjecció al vehicle.....	361
Taula 2.10 Característiques tècniques dels cargols de subjecció al vehicle.....	362
Taula 2.11 Especificacions del cargol de subjecció de la base metàl·lica i la peça de cautxú.....	363
Taula 2.12 Característiques tècniques del cargol de subjecció de la base metàl·lica i la peça de cautxú.....	364
Taula 2.13 Especificacions de femelles de cargol.....	365
Taula 2.14 Característiques de caps de cartró per a l'empaquetat .....	366
Taula 2.15 Característiques del material de farciment de la caixa .....	367

# **PLEC DE CONDICIONS**

## **1 CONDICIONS DELS MATERIALS**

Taula 1.1 Elements constructius que formen el silenciós.....	433
Taula 1.2 Elements de subjecció i acoblament al vehicle .....	433

## **ESTUDIS AMB ENTITAT PRÒPIA**

### **PREVENCIÓ DE RISCOS LABORALS**

#### **1 Seguretat i salut en els llocs de treball**

Taula 1.1 Nivell mínim d'il·luminació en les zones de treball.....	474
--	-----

#### **6 Senyalització**

Taula 6.1 Significat dels colors. Principis generals.....	489
Taula 6.2 Exemples de codificació de signes de seguretat.....	489
Taula 6.3 Senyals audibles .....	490
Taula 6.4 Relació de les dimensions mínimes i la distància d'observació de les senyals de seguretat .....	491

# MEMÒRIA



# ÍNDIX DE LA MEMÒRIA

<b>1 OBJECTE</b>	31
<b>1.1 Objectius</b>	31
<b>1.2 Justificació</b>	31
<b>2 ABAST</b>	32
<b>3 ANTECEDENTS</b>	33
<b>3.1 Estudi de mercat de la competència</b>	33
3.1.1 PDR Racing Tuning	33
3.1.2 Don Silencioso	36
3.1.3 Sebring	40
3.1.4 Supersprint	43
3.1.5 DynoMax	48
<b>3.2 Anàlisi de materials</b>	53
3.2.1 Material de construcció: acer inoxidable	53
3.2.2 Material absorbent: llana de vidre	62
3.2.3 Material elàstic: cautxú E.P.D.M.	71
<b>3.3 Estudi dels diferents processos productius</b>	73
3.3.1 Procés de tall	74
3.3.1.1 Operacions de tall convencional	74
3.3.1.1.1 Operacions de tall mecànic	74
3.3.1.2 Operacions de tall no convencional	83
3.3.1.2.1 Tall de xapa per làser	84
3.3.1.2.2 Tall de xapa mitjançant oxitall	89
3.3.1.2.3 Tall per plasma	95
3.3.1.2.4 Tall per aigua	99
3.3.1.2.5 Problemàtica del tall de xapa i generació de trajectòries	104
3.3.1.3 Comparació entre els diferents sistemes de tall	116
3.3.1.3.1 Diferències fonamentals entre els processos	116
3.3.1.3.2 Aplicacions i usos típics dels processos	117
3.3.1.3.3 Inversió inicial i costos mitjans d'operació	118
3.3.1.3.4 Precisió del procés	119
3.3.1.3.5 Consideracions de seguretat i espai operacional	120

3.3.2 Procés d'embotit.....	121
3.3.2.1 Fonaments teòrics del procés.....	121
3.3.2.2 Eines necessàries per al procés.....	124
3.3.2.3 Factors involucrats al procés.....	125
3.3.2.4 Alternatives del procés d'embotit.....	129
3.3.2.5 Defectes d'embotit.....	130
3.3.2.6 Càlcul dels elements.....	131
3.3.3 Procés de punxonat.....	133
3.3.3.1 Introducció.....	133
3.3.3.2 Anàlisi del procés de punxonat.....	134
3.3.4 Procés d'unió per soldadura.....	143
3.3.4.1 Fonaments de la soldadura.....	143
3.3.4.2 Conceptes de la tecnologia de la soldadura.....	144
3.3.4.3 Processos de soldadura.....	156
3.3.4.4 Soldadura dels acs inoxidables.....	189
3.3.5 Agrafat de xapes metàl·liques.....	194
3.3.5.1 Agrafat longitudinal.....	194
3.3.5.2 Agrafat doble.....	196
3.3.5.3 Defectes comuns en la fabricació d'agrafats.....	204
3.3.6 Operacions de plegat.....	210
3.3.6.1 Plegat en V i plegat de marges.....	210
3.3.6.2 Anàlisi d'enginyeria del plegat.....	211
3.3.6.3 Altres operacions de plegat.....	216
3.3.7 Producció de forats en tubs.....	218
3.3.7.1 La penetració de tubs.....	218
3.3.7.2 El punxonat de tubs.....	220
3.3.7.3 Comparació entre les operacions de penetració i punxonat.....	222
3.3.8 Acabats d'extrems de tubs.....	223
3.3.8.1 Expansió d'extrems de tubs.....	224
3.3.8.2 Ranurat d'extrems de tubs.....	224
3.3.8.3 Arrodoniment d'extrems de tubs.....	225
3.3.9 Injecció de plàstic.....	226
3.3.9.1 La màquina d'injecció.....	226
3.3.9.2 El cicle d'injecció.....	230
3.3.9.3 Duració del cicle d'injecció.....	232
<b>4 NORMES I REFERÈNCIES.....</b>	<b>235</b>
<b>4.1 Homologació del disseny.....</b>	<b>235</b>
4.1.1 Definicions.....	235
4.1.2 Sol·licitud de l'homologació CE.....	235
4.1.3 Homologació CE.....	237

4.1.4 Concessió de l'homologació CE.....	247
4.1.5 Marca d'homologació CE.....	251
<b>4.2 Bibliografia i fonts d'informació.....</b>	<b>252</b>
<b>4.3 Programes de càlcul utilitzats.....</b>	<b>253</b>
<b>5 SÍMBOLS UTILITZATS.....</b>	<b>254</b>
<b>6 FABRICACIÓ DE LES PECES I CÀLCULS NECESSARIS.....</b>	<b>255</b>
<b>6.1 Carcassa.....</b>	<b>256</b>
6.1.1 Estudi de l'agrafat longitudinal.....	257
6.1.2 Càlcul de la grandària de la xapa necessària.....	258
6.1.3 Plec de preparació per l'agrafat doble.....	264
<b>6.2 Tapes.....</b>	<b>267</b>
6.2.1 Estudi de l'agrafat doble de les tapes i la carcassa.....	268
6.2.2 Càlcul de la grandària dels retalls de xapa.....	269
6.2.3 Paràmetres de l'embotició.....	272
6.2.4 Estudi de l'acoblament de les tapes amb la carcassa.....	272
<b>6.3 Parets interiors.....</b>	<b>277</b>
6.3.1 Estudi del procés d'embotició.....	278
6.3.2 Càlcul de la secció inicial.....	279
<b>6.4 Tubs.....</b>	<b>281</b>
6.4.1 Tallat dels tubs.....	281
6.4.2 Punxonat dels tubs.....	282
6.4.3 Ranurat de l'extrem del tub d'entrada.....	282
6.4.4 Arrodoniment de l'extrem del tub de sortida.....	282
<b>6.5 Sistema d'ancoratge.....</b>	<b>284</b>
6.5.1 Base metàl·lica.....	284
6.5.2 Peces de cautxú.....	286
6.5.3 Barretes d'acer inoxidable.....	287
6.5.4 Cargols.....	287
<b>7 MUNTATGE DE LES PECES DINS DEL SILENCIÓS.....</b>	<b>288</b>
<b>7.1 Muntatge de les peces interiors.....</b>	<b>288</b>
<b>7.2 Col·locació de les peces interiors a la carcassa.....</b>	<b>290</b>
<b>7.3 Introducció del material absorbent.....</b>	<b>292</b>

<b>7.4 Col·locació de les tapes de la carcassa.....</b>	<b>294</b>
<b>7.5 Soldadura dels tubs amb les tapes.....</b>	<b>298</b>
<b>7.6 Soldat de les barretes d'ancoratge.....</b>	<b>299</b>
<b>7.7 Empaquetat del producte.....</b>	<b>300</b>

<b>8 ESTUDI DE LES INSTAL·LACIONS I DE LES CONSIDERACIONS QUE ES NECESSITEN PER ACOLLIR EL PROCÉS PRODUCTIU.....</b>	<b>301</b>
<b>8.1 Estudi del flux de producció.....</b>	<b>303</b>
<b>8.2 Situació recomanada de la maquinària.....</b>	<b>306</b>
<b>8.3 Característiques recomanades de la fàbrica.....</b>	<b>308</b>
<b>8.4 Personal recomanat pel desenvolupament de l'activitat.....</b>	<b>308</b>
<b>8.5 Estimació del rendiment de la producció.....</b>	<b>310</b>
8.5.1 Temps de realització de les operacions.....	310
8.5.2 Temps d'operació de cada treballador.....	313
8.5.3 Temps de fabricació de cada unitat.....	315



# 1 OBJECTE

## 1.1 Objectius

Dissenyar el procés de producció en sèrie d'un silenciós d'escapament per a automòbils amb el que s'obtinguin uns beneficis i un rendiment màxims.

Aquest projecte parteix d'un disseny previ d'un silenciós d'escapament d'acord amb la normativa europea, que s'ha dissenyat per a que es pugui adaptar a diferents models de turismes actuals.

La producció d'aquest producte haurà de fer-se respectant les normatives existents sobre seguretat i prevenció de riscos laborals, per a que a l'hora de ficar el procés en funcionament no aparegui cap tipus de problema en el correcte desenvolupament de la fabricació.

Com ja s'ha dit es realitzarà un disseny per a fabricar el producte en sèrie, i per tant es realitzarà un estudi de les diferents opcions de fabricació de tots els components del silenciós, i s'escollirà en cada cas el que més beneficiï al rendiment productiu i econòmic.

En el present projecte es farà una descripció de la implantació de la producció, però no hi ha cap referència de la situació on estarà la fàbrica, ja que en els següents fulls es descriuran les característiques de tot el procés i es faran les recomanacions oportunes, d'aquesta manera el fabricant que aculli aquest procés podrà adaptar-lo a qualsevol ubicació, tot i que, això sí, es faran unes recomanacions mínimes de les característiques que haurà de posseir la nau o taller on es desenvolupi l'activitat.

## 1.2 Justificació

Aquest projecte es realitza com a Projecte de Final de Carrera d'Enginyeria Tècnica Industrial, especialitat Mecànica.

El projecte ha estat encarregat per l'Escola Politècnica Superior de la Universitat de Lleida, a suggeriment del Sr. Xavier Biela Pàmies de l'empresa Biela Vehículos Industriales S.L.

La idea de la redacció d'aquest neix de la necessitat d'obtenir uns majors beneficis a partir de la fabricació d'un silenciós per a turismes de gamma mitjana que s'ha dissenyat prèviament, amb l'objectiu de poder afrontar totes les despeses que suposa la implantació d'un procés productiu d'un dispositiu d'aquest tipus.

L'implantació del procés de producció en sèrie haurà de ser estudiat de tal manera que permeti l'obtenció del màxim de beneficis possible, per això s'hauran de analitzar tots els

processos productius, i totes les operacions a realitzar, per a que es redueixin al màxim els temps morts que es puguin crear durant la fase de fabricació.

Per a assegurar-nos que la implantació d'aquest procés tingui una bona rendibilitat es realitzarà un estudi de viabilitat del procés, en el que es tindran en compte totes les despeses relacionades amb la producció de les peces directa o indirectament, i es relacionarà amb el preu de mercat del dispositiu per comprobar si el procés que s'estudia en aquest projecte és viable o no.

## **2 ABAST**

El present projecte s'emmarca bàsicament dins de l'àmbit dels processos productius que consisteixen en la transformació de xapa metàl·lica.

Hi ha altres processos diferents als de xapa metàl·lica que consisteixen en la transformació de barretes i la de tubs de secció circular, però representen una part minoritària ja que totes les altres peces s'aconsegueixen a partir de xapa de metall.

El procés de fabricació que es descriu està enfocat a un silenciós en particular, es cert que podria servir com a guia en la fabricació d'algun altre disseny similar a l'estudiat aquí, però tots els càlculs, consideracions i processos que apareixen en aquest projecte estan únicament realitzats per aquest disseny en concret.

Aquest projecte avarca la producció del silenciós en tots els seus àmbits: els materials a utilitzar, l'estructura interior i exterior, els processos de producció adequats i la maquinària a utilitzar.

El procés de fabricació també té en compte la instal·lació del silenciós al vehicle, produint també les peces necessàries per a realitzar la unió del silenciós amb el sistema d'escapament i amb el xassís del vehicle.

A més, en el projecte s'inclouen tots els treballs de documentació realitzats en els diferents àmbits com els processos de producció actuals, la maquinària disponible al mercat, etc.

El projecte també compren els diferents estudis desenvolupats, necessaris per poder dur a terme la fabricació, com l'estudi de mercat de la competència, l'estudi dels materials o l'estudi constructiu del sistema.

## 3 ANTECEDENTS

### 3.1 Estudi de mercat de la competència



#### PDR Racing Tuning

##### 3.1.1.1 Descripció

És una empresa dedicada a la fabricació de productes esportius específics relacionats amb el món del racing-tuning.

L'empresa PDR, ubicada a la població d'Alcoletge (Lleida), va ser fundada en 1989 i en l'actualitat es dedica especialment a la fabricació de productes de totes les marques d'automòbils i disposa d'una planta exclusiva on es fabriquen els seus productes i una altra planta per emmagatzematge i distribució.

L'empresa està composta de tres seccions importants:

- Departament d'Administració i Finances.
- Departament de Producció.
- Departament Comercial.

Es dedica a fabricar i distribuir els seus productes tant a nivell nacional com internacional i va dirigit a empreses d'automoció, recanvis, concessionaris i tallers reparadors independents.

##### 3.1.1.2 Productes

###### - Col·lectors d'escapament:



*Fig 3.1 Col·lector d'escapament*

###### - Tubs d'acoblament:



*Fig 3.2 Tubs d'acoblament*

**- Dispositius d'escapament:**



*Fig 3.3 Diferents tipus de silenciosos*



*Fig 3.4 Un dels nous models de silenciós universals*

**- Arcs de seguretat:**



*Fig 3.5 Arc de seguretat en un automòbil*

**- Reforços de suspensió:**



*Fig 3.6 Reforç de suspensió*

**- Serveis PDR:**

Restauració de tot tipus de vehicles antics, fabricant tota mena de peces a mida com tubs d'escapament, col·lectors, reforços de suspensió.



*Fig 3.7 Coche restaurat per PDR*



## Don Silencioso

### 3.1.2.1 Descripció

Empresa dedicada al disseny, fabricació i venda de cues i tubs d'escapament per a cotxes. Empresa situada a La Corunya i fundada en 1991. Ha sigut precursora d'aquest sector a Espanya. En 1996 l'empresa decideix crear una pàgina web dotada d'un complet catàleg de tots els seus productes.



*Fig 3.8 Don Silencioso*

El seu principal mercat és de caràcter nacional, especialment la zona de Llevant. Però també realitza operacions comercials de caràcter internacional. Aquest mercat s'està consolidant gràcies precisament a la web i a la direcció de correu electrònic. Actualment compta amb distribuïdors a Espanya, França, Alemanya, Suïssa i Luxemburg.

Don Silencioso ha creat recentment una nova marca de silenciosos esportius anomenada **Roar**.



El passat mes de febrer l'empresa va estar present en un dels salons de tuning més importants d'Europa, el "Paris Tuning Show".



### 3.1.2.2 Gamma de productes

Els seus productes s'agrupen en les següents categories:

**- Cues d'escapament:**



**Cua Auto Netejable  
85 mm**



**Cua Auto Netejable  
104 mm**



**Cua Doble Rodona  
de 117 mm**



**Cua Doble Rodona  
de 104 DTM**



**Cua Ovalada de  
80x140**



**Cua Rodona de  
117 DTM**



**Cua Rodona de  
104 mm**



**Cua Rodona de  
85 mm**



**Cua Rodona de  
73 mm**



**Cua Ovalada de  
70x100 mm**



**Cua Doble Rodona  
de 88 mm**



**Cua Doble Rodona  
de 104 mm**



**Cua Doble Rodona  
de 85 DTM**



**Cua Rodona de  
117 mm**



**Cua Ovalada de  
75x130**



**Cua Rodona de  
63 mm**



**Cua Ovalada de  
80x140 DTM**



**Cua Doble Ovalada  
70x100**



**Cua Rodona de  
85 mm DTM**



**Cua Rodona de  
104 mm DTM**



**Cua Doble Rodona  
de 117 DTM**



**Cua Doble Ovalada  
75x130**











**Cua Quadrada  
73x73**



**Cua Agermanada  
85-104**

*Fig 3.9 Cues d'escapament*

- *Escapaments:*

 <p><b>Ford Probe</b></p>	 <p><b>Citroën Saxo</b></p>
 <p><b>Citroën Xsara HDI doble</b></p>	 <p><b>BMW 525 TDS doble</b></p>
 <p><b>HONDA PRELUDE 2.0 16 V</b></p>	 <p><b>Opel Astra doble</b></p>
 <p><b>Opel Kadet GSI</b></p>	 <p><b>Opel Vectra</b></p>

*Fig 3.10 Escapaments*

Detalls tècnics:

- Utilitza un sistema de mesura i curvatura mitjançant làser.
- El cos exterior dels seus silenciosos està realitzat en acer inoxidable AISI-304 AB (austenític) d'alta resistència a la corrosió.



- Utilitza també l'acer AISI-409-L (ferrític) que posseeix una gran resistència a la fatiga mecànica per estar enriquit i estabilitzat amb titani. Aquest metall és el que li dóna als seus productes el color característic a l'agafar temperatura.
- Com a materials insonoritzants interiors utilitza fil continu de fibra de vidre, que evita la pèrdua de massa insonoritzant.
- Els seus silenciosos compten amb l'homologació corresponent segons la Normativa Europea vigent.
- El seu sistema de treball ha sigut certificat per AENOR.



**Sebring**

### 3.1.3.1 Descripció

Empresa austríaca fundada en 1963 i que es va establir a la localitat de Wetzelsdorf (Graz). El primer escapament que va fabricar va ser per a un Stey-Fiat 1100. En 1966 Sebring es trasllada a Köflach. La gamma de producció augmenta comptant amb un escapament per gairebé tots els tipus de vehicles que existien. La cooperació amb Jochen Rindt a mitjans dels anys seixanta va servir de base per la introducció de tecnologia d'alta competició a Sebring. A partir d'aquest punt, la marca no només es preocupava pel disseny i la sonoritat, sinó que a més va adquirir major eficiència millorant la circulació de l'escapament.

En 1972 va introduir un sevei 24 hores. La crisi del petroli de 1973 va ser el condicionant perquè Sebring produís sistemes d'escapament encara més efectius. A mitjans dels 70 va introduir els Estàndards Internacionals del soroll. En 1979 va ser desenvolupat el primer escapament esportiu per a motos amb motor de dos temps.

En 1980 va començar la producció en sèrie. Als anys vuitanta la indústria del tuning comença a assolir importància. Des d'aleshores fins ara, famosos tuneadors com AMG, Abt o Lorinser han apostat per Sebring. En 1986 la companyia estava entre les grans marques internacionals. Van desenvolupar el primer conversor catalític. Al mateix any el Ministeri d'Afers Econòmics Austríac va atorgar a Sebring el Premi Estatal d'Innovació.

Amb la introducció del conversor catalític reemplaçable de Sebring i la seva comercialització a partir de 1988, la companyia va demostrar un cop més la seva alta competitivitat en el camp de la tecnologia dels escapaments respectuosa amb el medi ambient. Tots els escapaments de Sebring compleixen amb les últimes directives europees CE.

Actualment l'empresa està situada a la localitat austríaca de Voitsberg. Entre 1997 i 1998 el centre tecnològic de Sebring es va equipar amb la maquinària més avançada. A l'estiu de 2002 va obrir un modern centre de recerca i desenvolupament.



*Fig 3.11 Fabrica de Sebring*

### 3.1.3.2 Recerca i Desenvolupament

El departament de R+D és el cor del Centre Tecnològic de Sebring. Compta amb un centre de mesura i proves per als sistemes d'escapament. Inclou el banc de proves Dynojet i també un banc de proves específic per a motos.

Compta amb un recinte per mesurar el nivell de pressió acústica, dotat de sòl pavimentat amb asfalt especial per a la reducció del soroll d'acord amb les directives europees, així com un laboratori de vídeo totalment equipat. Compta amb un sistema compacte de mesures per diferents dissenys per tal d'assolir el millor resultat possible.



*Fig 3.12 Banc de proves*

### 3.1.3.3 Gamma de productes

#### - Silenciosos per a motos:



*Fig 3.13 Silenciosos per a motos*

#### - Silenciosos per a cotxes:



*Fig 3.14 Silenciosos per a cotxes*



## Supersprint

### 3.1.4.1 Descripció

Empresa italiana dedicada al disseny i construcció de sistemes d'escapament per a automòbils. Va ser creada en 1955. Actualment està considerada com a una de les primeres marques a nivell mundial del sector. Aquesta empresa està situada a la localitat de Mantova, al nord d'Itàlia.

### 3.1.4.2 Disseny i fabricació dels productes

Supersprint estudia cadascun dels models de les diferents cases automobilístiques, incloent les diferents motoritzacions disponibles. Això inclou motors de 4, 5, 6 cilindres, i V8, V10 i V12, amb pics de règims de revolució que varien entre 4000 rev/min i 9000 rev/min; amb distribució a 2, 3, 4 ó 5 vàlvules per cilindre; a compressor volumètric, o bé atmosfèric; en configuració de sèrie, o bé modificats.



*Fig 3.15 Peces fabricades per Supersprint*

Això comprèn des del petit FIAT Cinquecento Sporting de 54 hp, al DODGE Viper amb motor de preparat de 490 hp; passant per les versions rally del SUBARU Impreza 4WD i MITSUBISHI Lancer evo IV.

Com que les característiques dels motors de cotxes de carretera són molt diferents dels motors de carreres, ja que aquests últims són molt més potents i amb un camp d'utilització centrat en alts règims de revolucions; Supersprint estudia cada ús particular per realitzar un escapament adequat i el més específic possible. També cal destacar la diferència entre les instal·lacions per les competicions sobre asfalt i les de rally.

Pels escapaments per a turismes, recorre a l'ús de tubs d'acer inoxidable de gruix mínim i unions soldades a TIG manualment, per tal d'obtenir major potència i menor pes. Per a vehicles de rallyes, que estan exposats a agents com la grava, etc., fabrica tubs més resistents per tal de suportar possibles cops contra pedres i obstacles.

Supersprint projecta i construeix els seus escapaments en base a un particular tipus de motor, i a les seves especificacions característiques. El flux dels gasos d'escapament i la seva velocitat de sortida ve notablement augmentat gràcies al disseny dels silenciosos, també mantenint quasi invariable el diàmetre dels tubs de sèrie. S'assegura l'equilibri entre la disminució del valor de contrapressió i el flux del gas, per poder obtenir les prestacions desitjades.

Quan Supersprint desenvolupa un sistema per a un nou model de cotxe, realitza manualment nombrosos prototipus fins arribar a un resultat òptim. Per les possibles

solucions poden seleccionar d'entre diferents tubs foradats, tant interns com de sortida, de diàmetres exteriors que oscil·len entre 32 mm i 76 mm, amb mesures intermèdies amb increments de 2 mm i 3 mm.

### **Escapaments de competició:**

Supersprint compta també amb sistemes d'escapament per a la utilització en circuit, en competicions, etc.

Tots aquests components poden estar combinats amb els tubs centrals semidirectes (sense silenciós) per a un so encara més agressiu.

Els sistemes Supersprint de competició (Grup A) amb tubs més grans de la mida de sèrie estan aconsellats exclusivament per a vehicles de competició, o en el cas de vehicles de carretera, només si tenen profundes modificacions de motor (augment de cilindrada, conversions del turbo, etc.)

Tot i així, aquests sistemes no estan homologats per l'ús en carretera, però poden ser fàcilment substituïts pels components originals en el moment de circular sobre carrers oberts al trànsit.

Supersprint prepara cotxes per a les competicions mundials de rally i en circuit.

### **3.1.4.3 Investigació i desenvolupament**

Els sistemes d'escapament que realitza Supersprint són investigats, dissenyats i provats per assegurar un bon funcionament. Tots els dissenys són validats per proves extenses. Aquestes proves poden ser en bancs de prova, al carrer i en circuit de carreres.

El banc de proves de Supersprint efectua més de 1000 proves a l'any sobre cada tipus de vehicle.

També realitzen les proves necessàries per l'homologació de carretera. Tots els escapaments de carretera aconsegueixen els estàndards establerts per la ITV en matèria de qualitat dels materials, disseny, sistema de construcció i emissions.



### 3.1.4.4 Gamma de productes

#### - Col·lectors d'escapament:



*Fig 3.16 Col·lector d'escapament*

1) Cantells davanters de les entrades d'acer realitzats màquina de 13 a 15 mm de gruix, resistents a les altes temperatures.

2) Tubs d'acer inoxidable o també cromats d'1,5 mm de gruix doblegats a màquina.

3) Tubs davanters perfectament acoblats a les sortides dels gasos de combustió del motor per a un flux lliure dels gasos. Les seves longituds i diàmetres s'adeqüen amb la posició del motor i la banda de potències del mateix.

4) Les unions entre els tubs estan soldades a mà.

5) La connexió entre els tubs està realitzada a màquina per tal de perfeccionar les toleràncies i aconseguir un acoblament perfecte.

6) El suport està col·locat de tal manera que pugui encaixar exactament amb els punts de muntatge originals.

7) Sensor d'oxigen.

8) Connexió realitzada a màquina per a un acoblament perfecte amb el tub d'escapament o bé un silenciós davanter.

### - Silenciosos esportius:

1) Juntures de precisió amb suports col·locats en la posició convenient per a un fàcil muntatge i un perfecte ajust.

2) Tub d'entrada d'acer inoxidable d'1,5 mm de gruix.

3) Materials absorbents del so duradors (llana de roca amb una capa de llana d'acer inoxidable recobrint la paret interior del silenciós).

4) Disseny de flux lliure en el silenciós, els gasos flueixen per l'interior de la cambra en forma de Y.

5) Carcassa del silenciós d'alumini d'1,5 mm de gruix.

6) Tubs interiors perforats en acer inoxidable d'1,2 a 1,5 mm de gruix.

7) Tubs de sortida d'acer inoxidable d'1 mm de gruix cromats a elegir d'entre 19 estils diferents de disseny i forma, apropiat per a cada model d'automòbil.

8) Capa final del silenciós en acer inoxidable.

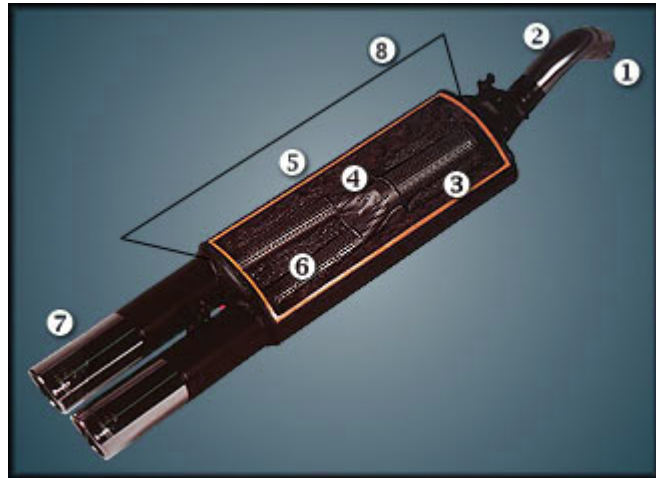






Fig 3.17 Silenciós esportiu

Alguns exemples de silenciosos que fabrica aquesta marca són:

- Per a cotxes de carrer:

 <p><b>Audi A3</b></p>	 <p><b>Ford Mondeo</b></p>
 <p><b>Peugeot 206</b></p>	 <p><b>Citroën Xsara</b></p>





*Fig 3.18 Silenciosos per a cotxes de carrer*

- Per a cotxes de competició:



*Fig 3.19 Silenciosos per a cotxes de competició*



**DynoMax**

### 3.1.5.1 Descripció

Empresa nord-americana dedicada al disseny i fabricació de sistemes d'escapament per a diferents tipus de vehicles. Està situada a la localitat de Jackson (Michigan, Estats Units). Aquesta marca forma part de la corporació Tenneco Automotive, dedicada a la producció de diferents sistemes per a vehicles com són suspensions, sistemes d'escapament, etc.

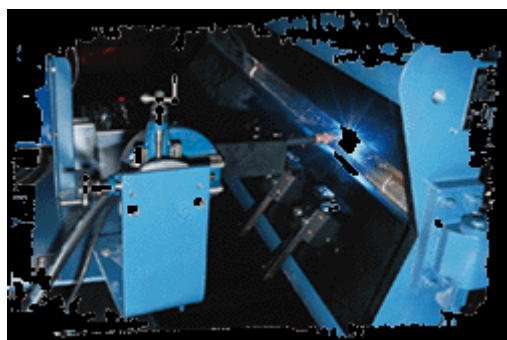
DynoMax és una empresa on la tecnologia domina cada fase de la producció dels seus sistemes d'escapament; des de la utilització de sistemes CAD pel disseny fins als processos CAM.

Els seus productes són provats en el laboratori i també en la pista de carreres.

Compta amb quatre cambres proves, diversos laboratoris d'alta tecnologia i una completa cambra anecoica per mesurar sons en absència de soroll reflectit.



*Fig 3.20 Seu de DynoMax*



*Fig 3.21 Maquinària*

Els seus principals enginyers assessoren als principals fabricants d'automòbils del món en el disseny i en la fabricació dels sistemes d'escapament. És el subministrador exclusiu de la marca Porsche.

La seva experiència en equipaments de sèrie, és una de les raons per què DynoMax ha sigut una de les principals empreses a nivell mundial des de fa més de 70 anys.

Els seus enginyers analitzen contínuament el desenvolupament dels seus productes en pistes de proves i en esdeveniments esportius al llarg dels Estats Units.

Aquesta empresa ofereix una àmplia gamma productes tant en sistemes universals com en sistemes específics per a determinats models de vehicles. Tant en vehicles de carretera com de competició.

DynoMax compta amb una àmplia xarxa de distribució relacionada amb la indústria dels recanvis per a automòbils.

### 3.1.5.2 Productes

DynoMax ofereix una àmplia gamma de productes, els quals es classifiquen en els següents grups:

#### **- Silenciosos:**

DynoMax® ofereix una àmplia gamma de silenciosos.

*Silenciós Ultra Flo™ :*

- 100 % construït en acer inoxidable.
- Poliment 304 de la carcassa que dona l'aparença d'un mirall.
- L'alta tecnologia de Flo caracteritza el disseny de flux directe per a un flux i potència màxims.
- La tecnologia CRF (*Continuous Roving Fiberglass* o Embolcall Continu de Fibra de Vidre) dona un so agressiu, poderós i profund.



Fig 3.22 Silenciós Ultra Flo™

*Silenciós soldat UltraFlo™ :*

- Construcció 100% soldada per a una durabilitat màxima.
- 100% alumini per una llarga vida.
- L'alta tecnologia de Flo caracteritza el disseny flux directe per a un flux i potència màxims.
- La tecnologia CRF (*Continuous Roving Fiberglass* o Embolcall Continu de Fibra de Vidre) dona un so agressiu, poderós, profund.
- Disponible en forma ovalada, i en rodona de 6 polsades.
- Per a un ús de carrer o de carreres.



Fig 3.23 Silenciós soldat UltraFlo™

*Silenciós Super Turbo™:*

- Canals conductors de flux patentat per aconseguir major potència.
- 100% alumini per una llarga vida i una bona aparença.
- Recobriments interns de fibra de vidre.
- Redueix la contrapressió per l'estalvi de potència i de combustible.



Fig 3.24 Silenciós Super Turbo™

## Silenciosos de competició:

### Bala:

- Disseny de flux directe per a un flux d'escapament màxim.
- Construït totalment en alumini per a una llarga vida.
- Compacte, disseny rodó per la utilització a rans de terra.



Fig 3.25 Bala

### Col·lector:

- Disseny de flux directe per a un flux i potència màxims.
- Ús exclusiu per a competició.
- Silenciós molt lleuger (entre 7 i 8 lliures).
- Mida compacta, ajustant-se a espais on altres no podrien.

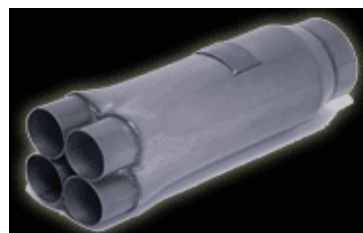


Fig 3.26 Col·lector

## Silenciosos d'importació:

- Disseny de flux directe per a un flux i potència màxims.
- Inclueix un alt contingut de crom amb acabat de pulit T-304.
- Fabricat en acer inoxidable.
- Utilitza el CRF (*Continuous Roving Fiberglass* o Embolcall Continu de Fibra de Vidre).
- El tub perforat augmenta l'absorció i minimitza les turbulències de descarga.
- Disponible en forma ovalada o rodona de 6 polsades.

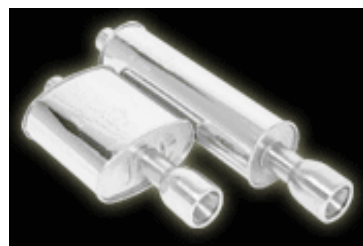


Fig 3.27 Silenciosos d'importació

## - Sistemes per a camions:

Els sistemes dissenyats per a aquests vehicles utilitzen la mateixa tecnologia que en els turismes adaptant-se a les característiques requerides per a aquesta mena de vehicles.

### Sistemes Ultra Flo:

Gamma de silenciosos que utilitza el sistema de flux directe dels gasos d'escapament.

### Sistemes Super Turbo:

Aquest grup, per contra, utilitza la recirculació dels gasos d'escapament com a sistema d'atenuació sonora.

## **- Accessoris:**

### **Cues d'escapament:**

- Disponible en forma ovalada o rodona de 6 polsades.
- Cues per a turismes.
- Cues d'escapament d'importació.
- Cues d'escapament per a camions



*Fig 3.28 Cua d'escapament*

### **Tubs especials:**

- Escapaments especials per a camions.



*Fig 3.29 Tub especial*

### **Accessoris i eines:**

- Eines.
- Reductors i adaptadors.
- Extensions.
- Abraçadores.
- Altres accessoris.



*Fig 3.30 Accessoris i eines*

## **- Col·lectors d'escapament:**

- Disponible pintat o recobrint ceràmic enllustrat tant a l'interior com a l'exterior.
- Mandrinat als tubs principals per a un millor flux.
- Juntures de precisió per evitar cap mena de fuga.
- Acoblaments ideats per a una ràpida instal·lació.



*Fig 3.31 Col·lector d'escapament*

## **- Súper convertidors:**

- Súper convertidor de flux. La seva eficiència permet gaudir de millors prestacions i d'unes emissions més netes.
- 26% més d'àrea frontal per millorar el funcionament.
- Compatible amb diàmetres superiors a 3 polsades.



*Fig 3.32 Súper convertidor*



### **- Productes d'escapament Thrush®:**

Nova marca de DynoMax de silenciadors i accessoris exclusius.  
D'entre els productes d'aquesta marca cal destacar:



#### *Thrush Turbo:*

- Coberta d'alumini per a una llarga durada.
- Està dissenyat per adaptar-se amb facilitat a diferents tipus de configuracions del sistema d'escapament.
- Unions de precisió per evitar cap mena de fuga
- Són reversibles, per a una màxima flexibilitat.



*Fig 3.33 Thrush Turbo*

#### *Thrush Glasspack:*

- El gruix de la cambra dona una major durabilitat.
- El tub central perforat minimitza les turbulències.
- CRF (*Continuous Roving Fiberglass* o Embolcall Continu de Fibra de Vidre) que proporciona un so més potent i una llarga durada.
- Disseny de flux directe per a una potència i flux màxims.



*Fig 3.34 Thrush Glasspack*

## 3.2 Anàlisis de materials

### 3.2.1 Material de construcció: acer inoxidable

Els acers inoxidables són una gamma d'acers que contenen un mínim de 12% de crom. El crom forma en la superfície de l'acer una pel·lícula extremadament prima, contínua i estable. Aquesta pel·lícula deixa la superfície inerta a les reaccions químiques. Aquesta és la característica principal de resistència a la corrosió dels acers inoxidables.

L'acer inoxidable presenta dos grans avantatges respecte l'acer convencional o al carboni, que són d'especial interès pel nostre disseny:

- És molt més resistent a la corrosió. Factor molt important, ja que un silenciós està en contacte amb els gasos d'escapament.
- És molt més resistent a les ruptures provocades per les vibracions. Efecte a que també estan sotmesos els silenciosos.

A més, l'acer inoxidable no exigeix manteniment (pintar) i es neteja amb gran facilitat.

És per aquestes raons per les quals s'ha elegit com a material constructiu l'acer inoxidable d'entre tots els grups d'acers.

#### 3.2.1.1 Característiques

- L'acer inoxidable té una resistència a la corrosió natural, és a dir, no s'addiciona.
- Té una gran resistència mecànica, de com a mínim dues vegades la de l'acer al carboni, relació pes-resistència mecànica adequada.
- És resistent a temperatures elevades i a temperatures criogèniques.
- És fàcil de transformar en gran varietat de productes.
- Proveeix excel·lents condicions d'higiene.
- Té aparença estètica, que pot variar-se sotmetent l'acer inoxidable a diferents tractaments superficials per obtenir acabats com un mirall, colorits, texturats, etc.
- Extens rang de propietats i característiques secundàries presents en els acers inoxidables que fan d'ells un grup d'acers molt versàtils.
- No són indestructibles, en canvi, amb una bona selecció, sotmetent-los a processos de transformació adequats i realitzant una neteja periòdica, algun integrant de la família dels acers inoxidables resistirà les condicions corrosives i de servei més severes.
- L'acer inoxidable és totalment reciclable i respectuós amb el medi ambient.

### 3.2.1.2 Usos i aplicacions

L'acer inoxidable és àmpliament utilitzat en diferents sectors, des de la més sofisticada aplicació industrial fins als utensilis domèstics. Contribueix, de manera indirecta, a satisfer les necessitats humanes bàsiques tals com alimentació, salut, construcció, medi ambient, transport i energia.

Alguns exemples de productes fabricats amb acer inoxidable són els equips de processos químics i petroquímics, equips de procés d'aliments i begudes, equips farmacèutics, cambres de combustió, sistemes d'escapament i filtres automotrius, vagons de ferrocarril, aplicacions arquitectòniques i estructurals, mobiliari urbà, panells d'aïllament tèrmic, intercanviadors de calor, tancs i recipients, barrils de cervesa, instruments quirúrgics, agulles hipodèrmiques, monedes, targes, olles i paelles, rentadores, rentavaixelles i utensilis de cuina.

### 3.2.1.3 Classificació

L'acer inoxidable és divideix en cinc famílies o classes; quatre d'aquestes segons les particulars estructures cristal·lines formades en l'aliatge: martensita, ferrita, austenita i dúplex (austenita més ferrita); mentre que la cinquena família són els aliatges endurits per precipitació, que estan basats més en el tipus de tractament tèrmic utilitzat que en l'estructura cristal·lina.

L'acer inoxidable que composarà el nostre producte pertany a la família dels austenítics, concretament utilitzarem l'acer inoxidable AISI-304. A continuació es descriuen les característiques principals d'aquest grup.

#### **Acers inoxidables austenítics:**

Els acers inoxidables austenítics constitueixen la família amb el major nombre d'aliatges disponibles, integra les sèries 200 i 300 AISI. La seva popularitat és deguda a la seva excel·lent formabilitat i superior resistència a la corrosió. Aquesta família d'acers s'obté addicionant elements formadors d'austenita, tals com níquel, manganès i nitrogen.

El crom proporciona una resistència a l'oxidació i a la corrosió fins a temperatures aproximades de 650°C en una varietat d'ambients. El níquel, i en menor extensió el manganès, s'addiciona a aquests acers per estabilitzar la fase austenítica en un ampli rang de temperatures i evitar així la seva transformació en martensita quan són refredats ràpidament a temperatura ambient.

Els acers austenítics es divideixen en dues categories:

#### Sèrie 300 AISI:

És la més extensa i són aliatges Cr-Ni. El níquel és un element estabilitzador o formador d'austenita, i s'utilitza amb aquest propòsit en un percentatge del 4 al 37%. La sèrie 300 AISI manté alt contingut de níquel i fins al 2% de manganès. També poden contenir molibdè, coure, silici, alumini, titani i niobi, elements que són utilitzats per conferir



certes característiques, com podria ser la prevenció en les estructures soldades de la corrosió en la regió propera a la soldadura. En certs tipus s'utilitza sofre o seleni per millorar la seva habilitat de ser maquinats.

### Sèrie 200 AISI:

Són aliatges Cr-Mn-N i representen la més recent addició a la família austenítica. Contenen menor quantitat de níquel (fins al 7%) i mantenen l'estructura austenítica amb alts nivells de nitrogen. El manganès de 5 a 20% és necessari en aquests aliatges baixos en níquel per augmentar la solubilitat del nitrogen en la configuració austenítica, a més de prevenir la transformació a martensita. L'addició de nitrogen també incrementa la resistència mecànica.

### *Característiques:*

- L'estructura és cúbica centrada a les cares.
- S'obtenen agregant níquel a l'aliatge, pel que l'estructura cristal·lina del material es transforma en austenita i d'aquí adquireixen el nom.
- El contingut de crom varia de 16 a 28 %, el de níquel de 3,5 a 22 % i el de Molibdè d'1,5 a 6 %. El contingut de carboni es manté sempre molt baix, en el rang de 0,03 a 0,08%.
- Són els més utilitzats per la seva àmplia varietat de propietats, bona resistència a la tracció, tenacitat i ductilitat.
- Excel·lent factor d'higiene i neteja.

### *Propietats mecàniques:*

- Acers no enduribles per tractament tèrmic, en canvi sí per treball en fred.
- No magnètics.
- Molt tenaços a la fragilitat.
- Excel·lent resistència a la corrosió.
- Se'ls pot addicionar: molibdè, tungstè, silici, coure, titani.
- Soldabilitat molt bona.
- La temperatura a la que comencen a formar-se capes és de 850 a 1150 °C.
- Fàcils de transformar.
- Tenen l'habilitat de ser funcionals a temperatures extremes, tant criogèniques, prevenint la fragilització; com a altes temperatures (fins als 925 °C).

### *Tractaments tèrmics:*

- Recuita austenítica, s'escalfa l'acer entre uns 1050 - 1070 °C, amb lliure admissió d'aire mantenint-lo poc temps i refredant-lo ràpidament, amb preferència en aigua.

- No admeten tremp, però mitjançant el mecanitzat en fred es pot elevar considerablement, tant el límit de fluència com el límit de ruptura.

#### *Principals aplicacions:*

- La facilitat de fabricació i les excel·lents propietats mecàniques que ofereix l'acer inoxidable, el fan un material ideal para fabricar utensilis domèstics.
- Equip hospitalari i farmacèutic.
- En la indústria alimentària i química, aquest tipus d'acer és utilitzat en tancs, canonades, etc.
- En la construcció de maquinària.



*Fig 3.35 Exemples d'aplicacions dels acers inoxidable austenítics*

#### **Principals tipus de la classe**

##### AISI 301:

Aquest grau té menor resistència a la corrosió que altres acers inoxidable de la sèrie 300. Baix contingut de crom i níquel per augmentar la duresa per treball en fred. Pot ser fàcilment format.

El tipus 301 ofereix bones propietats de soldabilitat i té cinc graus diferents: recuita, enduriment d'un quart, mig endurit, tres quarts endurit i endurit complet.

##### *Aplicacions:*

Parts d'avions, ornaments arquitectònics, caixes de ferrocarril i de trailer, cobertes de suports de rodes d'automòbils, equip de procés per a aliments.

##### AISI 303 i 303Se:

Van ser desenvolupats especialment per propòsits de maquinat, de menor resistència a la corrosió que el tipus 304. Contenen gran quantitat de sofre, mostra bona resistència a l'oxidació en ambients de fins a 900 °C. S'utilitzen per a talls pesats.

##### *Aplicacions:*

AISI 303: Connectors, panys, cargols i femelles, bushings, cremalleres, parts maquinades, parts per a bombes, fletxes.

AISI 303 Se: Perns, cargols i femelles, accessoris per a avions, reblons.

#### AISI 304 i 304L:

Comunament anomenat l'acer inoxidable tot propòsit, ja que té propietats adequades per a gran quantitat d'aplicacions. És recomanat per a construccions lleugeres soldades en les que la recuita no és pràctic o possible, però que requereixen bona resistència a la corrosió. Altres propietats són el seu servei satisfactori a altes temperatures (800° a 900 °C) i bones propietats mecàniques.

El tipus 304 conté baix carboni amb el que s'evita la precipitació de carburs durant llargs períodes d'alta temperatura; té un contingut de carboni de 0,08% màxim pel que se'l considera un material satisfactori per a la majoria de les aplicacions amb soldadura.

El tipus 304L és recomanable quan s'han de soldar alts gruixos de material (més de ¼ de polsada) i l'exposició a la temperatura de soldadura és major. Aquest grau conté 0,03% màxim de carboni.

En les aplicacions de soldadura on és possible la recuita, els carburs que és formen poden ser eliminats per recuita seguida de refredament ràpid. La recuita serveix per rellevar esforços residuals en l'àrea soldada.

#### *Aplicacions:*

Equip químic de procés, equip de procés i manipulació d'aliments, intercanviadors de calor, equip per a hospitals.

#### AISI 305:

El seu principal avantatge és que són més econòmics i tenen mínima tendència a l'enduriment per treball en fred per l'increment de níquel que té. S'utilitza per a severes operacions de revingut.

#### *Aplicacions:*

Equip per la indústria del cafè, reflectors, parts d'escalfament i refredament continu.

#### AISI 309 i 309S:

Degut a l'alt contingut de crom i níquel, els tipus 309 i 309S posseeixen alta resistència mecànica, tenacitat i excel·lent resistència a l'oxidació de temperatures de fins a 1000 °C aproximadament.

Aquests tipus no poden ser endurits per tractament tèrmic, no són magnètics i són utilitzats preferentment en condició de recuita. Poden soldar-se sense el subsegüent tractament tèrmic.

El tipus 309S és una modificació del 309 i conté 0,08% màxim de carboni per reduir la tendència a la precipitació de carburs durant la soldadura o aplicacions amb alta temperatura.

*Aplicacions:*

Escalfadors d'aire, equip químic de procés, parts de cremadors, de turbines de gas, intercanviadors de calor.

AISI 310:

Té més contingut de níquel que el 309 i és més resistent a l'oxidació en altes temperatures. És freqüentment utilitzat en serveis a alta temperatura i com a material d'aportació en soldadura d'aliatges de baix contingut de crom.

El AISI 310S és una variació del tipus 310 que conté 0,08 % màxim de carboni per reduir la precipitació de carburs durant la soldadura o elevades temperatures d'ús.

*Aplicacions:*

Escalfadors d'aire, equip per a tractament tèrmic d'acers, equip químic de procés.

AISI 316, 316L i 316LN:

El 316 conté de 2 a 3% de molibdè, que millora la resistència a la corrosió en front a diferents agents químics agressius, àcids i atmosfera salina. Les seves propietats mecàniques són similars a les del tipus 304.

El 316L conté menor quantitat de carboni per evitar la sensibilització durant la soldadura. Per aquesta raó és preferit en aplicacions intensives amb soldadura.

El 316LN té una reducció de carboni i una addició de nitrogen per incrementar la seva resistència mecànica.

*Aplicacions:*

Ornaments arquitectònics, equip químic de procés, equip per al processament d'aliments, farmacèutic, fotogràfic, tèxtil, etc.

AISI 317 i 317L:

El 317 és una modificació del tipus 316 amb major contingut de crom, níquel i molibdè per augmentar la resistència a la corrosió en aplicacions químiques especials; les seves propietats mecàniques són similars al tipus 316.

El 317L és similar al 317 però amb menor quantitat de carboni, presenta major resistència a la corrosió intergranular després de soldadura o rellevat d'esforços.

*Aplicacions:*

Cargols i filferros quirúrgics, equip farmacèutic, equip químic de procés.

AISI 321:

És similar al 304, però conté una addició de titani equivalent a cinc vegades el contingut de carboni; el titani és addicionat per evitar precipitar el carbur de crom durant la soldadura o exposició a altes temperatures. La màxima estabilització s'aconsegueix amb una recuita en el rang de 900 a 1000 °C. Freqüentment és seleccionat en la fabricació de

recipients o estructures que utilitzen plaques de més d' $\frac{1}{4}$  de polsada de gruix on la recuita no és pràctica. Aquest tipus és principalment utilitzat en el rang de temperatures de 400 - 800 °C.

#### *Aplicacions:*

Equip químic de procés, recipients a pressió i d'emmagatzematge, parts de motors jet.

#### AISI 330:

És una variació del 304 amb alt contingut de níquel, dissenyat per a aplicacions d'alta temperatura. Aquest aliatge posseeix bona resistència a la escamació i a l'oxidació. Les seves propietats mecàniques es conserven a elevades temperatures.

#### *Aplicacions:*

Forns de recuita, equip químic de procés, parts per a turbines de gas i intercanviadors de calor.

#### AISI 347:

És una modificació del tipus 304, està estabilitzat amb niobi i tantali i és similar en la seva composició al 321. El niobi és un efectiu estabilitzador que no afecta la resistència a la corrosió, com ho fa el titani. L'addició de niobi és desitjable quan l'acer inoxidable sigui utilitzat en equips que operin entre els 400 i 800 °C, sota severes condicions de corrosió o on és probable que ocorri corrosió per fatiga, la qual és resultat de la combinació de tensió repetida i corrosió.

#### *Aplicacions:*

Equip per a tractaments tèrmics, tancs soldats per a l'emmagatzematge de substàncies químiques orgàniques, juntures d'expansió.

### **3.2.1.4 Formes de comercialització**

De cara al nostre disseny, els formats a tenir en compte seran: xapa llisa i tub de secció circular. En l'Annex *Catàlegs* es mostren per a aquests formats, els catàlegs d'un fabricant. Aquests inclouen els preus de venda al públic.

### **3.2.1.5 Resistència a la corrosió dels acers inoxidables**

Com ja hem dit anteriorment, els acers inoxidables tenen una resistència a la corrosió natural, que no s'addiciona. La corrosió és un fenomen que es considera com una mesura qualitativa. Tanmateix, les qualificacions qualitatives poden ser expressades

quantitativament. Un sistema de quantificar la resistència a la corrosió és el que s'exposa a continuació:

Referència	Denominació	Pèrdues de material en g/m <sup>2</sup> h	Equivalent en mm/any
I	Totalment resistent	Menys de 0,1	Menys de 0,1
II	Satisfactòriament resistent	0,1 - 0,5	0,1 - 0,6
III	Bastant resistent	0,6 - 1	0,7 - 1,1
IV	Poc resistent	1 - 10	1,1 - 11
V	No resistent	Més de 10	Més d'11

Taula 3.1 Sistema de quantificació de la resistència a la corrosió dels materials

En la següent taula mostrem per als tipus d'acers inoxidables AISI 304 i AISI 316, la resistència a la corrosió respecte alguns dels components dels gasos d'escapament:

Agent corrosiu		AISI	
Nom	Estat	304	316
Acetilè	21°	I	I
Àcid carbònic	Calent - fred	I	I
Benzè	Fred - calent	I	I
Diòxid de sofre gas	302°	I	I
Etilè	21°	I	I
Gasolina	21°	I	I
Monòxid de carboni gas	Fins a 871 °C	I	I
Parafina	Fred - calent	I	I
Vapor d'aigua	Fred - calent	I	I

Taula 3.2 Resistència a la corrosió dels acers inoxidables enfront d'alguns components dels gasos d'escapament

### 3.2.1.6 Propietats de l'acer inoxidable escollit

En la següent taula hi ha recollida la composició:

AISI	Carboni C màx.	Crom Cr	Níquel Ni	Manganès Mn màx.	Silici Si màx.	Sofre S màx.	Fòsfor P màx.
304	0,08	18-20	8-12	2	1	0,03	0,04

Taula 3.3 Composició de l'acer inoxidable AISI 304

En la següent taula es mostren les principals propietats mecàniques i físiques:

AISI	Límit elàstic (kg/mm <sup>2</sup> ) mín.	Càrrega de ruptura (kg/mm <sup>2</sup> ) mín.	Allargament (%) mín.	Duresa (HB) màx.	Densitat (g/cm <sup>3</sup> )	Calor específica 0-100 °C (kcal / (kg °C))	Coefficient de dilatació tèrmica 0-100 °C (x10 °C <sup>-1</sup> )	Conductivitat tèrmica a 100 °C (cal / (cm·s·°C))
304	21	52	40	202	8,06	0,12	17,3	0,039

Taula 3.4 Propietats mecàniques i físiques de l'acer inoxidable AISI 304

## 3.2.2 Material absorbent: llana de vidre

La llana de vidre és un material fibrós obtingut al fer fluir vidre fos a través d'una peça de forats molt fins i al solidificar-se té suficient flexibilitat per ser usat com fibra.

Les seves principals propietats són: bon aïllament tèrmic, inert davant àcids, suporta altes temperatures. Aquestes propietats i el baix preu de les seves matèries primeres, li han donat popularitat en moltes aplicacions industrials.

### 3.2.2.1 Propietats

#### Producte natural

Els productes amb els que es fabrica la llana de vidre provenen principalment de vidre reciclat i arena, que és una matèria primera natural, renovable molt ràpidament. Aquestes matèries primeres li donen naturalment al producte les qualitats necessàries per als edificis: imputrescible, resistent al foc, ...

Com que l'arena i el vidre són incombustibles, no és necessari afegir cap additiu al producte per a que sigui no inflamable. La llana de vidre conté tres vegades menys additius orgànics que les llanes de fibres vegetals.

#### Resistència tèrmica

Gràcies a la densa compactació dels materials amb una baixa conductivitat i atrapant una bona quantitat d'aire, la llana de vidre és un excel·lent aïllant tèrmic. Contra més gruix tingui el producte major serà la resistència tèrmica. En les aplicacions com a aïllant en edificis per exemple, redueix la pèrdua de calor a l'hivern i protegeix contra la calor a l'estiu.

#### Absorció acústica

Gràcies a la seva elasticitat i estructura, la llana de vidre aconsegueix efectes d'absorció i dissipació del so. El control del soroll (absorció i aïllament acústic) és una de les propietats més reconegudes de la fibra de vidre.

#### Material no inflamable

La llana de vidre és incombustible per naturalesa. Està classificada dins la Euroclasse A.



### **Producte suau per a aplicacions senzilles**

És un producte de tacte suau, fàcil de manipular i d'instal·lar. La llana de roca dóna molts avantatges en la manipulació, el transport i l'emmagatzematge ja que és un material lleuger, elàstic i compressible.

### **Lleugeresa**

La seva lleugeresa li ofereix un gran confort i seguretat durant la instal·lació.

### **Producte imputrescible**

Aquesta és una propietat essencial per a la indústria de la construcció, el producte no es degrada, no li afecten els microorganismes, cosa que el fa millor que els productes d'origen mineral.

### **Respecta el medi ambient**

La llana de vidre estalvia molta més energia durant la seva vida útil que per la seva producció. Gràcies a la seva elasticitat i al ser robusta, evita el malbaratament del material. La llana de roca pot ser reciclada per a retornar a la seva pròpia producció.

## **3.2.2.2 Procés productiu**

### **Mescla**

Les matèries primeres bàsiques són arenes naturals, vidre reciclat i s'afegeixen alguns agents en estat líquid. L'ús de vidre reciclat extret d'edificis, automòbils i recipients s'està incrementant, representa un 80% de la mescla. La mescla de vidre està feta de partícules que han passat per una anàlisi de criva molt precís. La mescla dels components està feta amb molta cura per a que sigui molt homogènia per a ser fosa de manera òptima.



*Fig 3.36 Diferents llanes de vidre*

## Fosa

La mescla obtinguda es fon al voltant de 1450 °C en un forn elèctric o de gas. Durant aquesta fase, els fums i el pols són filtrats i netejats per reduir l'impacte ambiental.

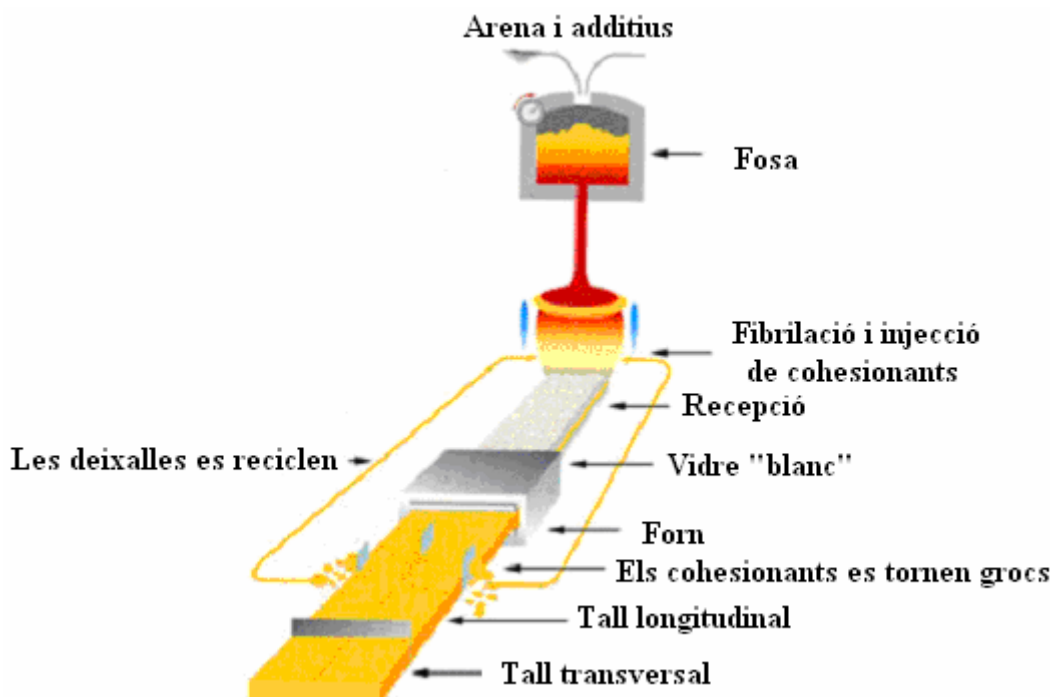


Fig 3.37 Procés productiu de la llana de vidre

## Fibració

El vidre fos es transporta dins d'un canal a l'àrea de fibració. Quan flueix el necessari, el vidre agafa la temperatura requerida per a ser transformat en fibres. Un dels processos més estesos de fibració és l'anomenat *TEL* que combina una circulació centrífuga del vidre a través d'un dispositiu rotatiu perforat, i una atenuació de la fibra gràcies a l'alta temperatura dels corrents de gas.



Fig 3.38 Fibració de la llana

La fibració és íntegra, converteix el 100% del vidre en fibres. El procés TEL produeix fibres llargues, flexibles, resilents, i amb gran resistència al pas de l'aire, el que significa un funcionament tèrmic excel·lent.

## Encolat de les fibres

Per tal de donar cohesió i propietats mecàniques a la llana de vidre, s'afegeixen petites quantitats d'agents cohesionants a les fibres, just després de la seva producció, intentant aconseguir de forma ideal que hi hagi una gota de cola a cada encreuament de fibres.

## Formació

La formació de la malla es realitza amb algunes eines específiques dissenyades per a reordenar les fibres en la malla. L'estructura i la densitat del producte s'adapta en cada cas, depenent dels requeriments del seu ús final.

## Curat

La llana de vidre obté la seva forma final, la seva duresa i la seva estabilitat quan es fica dins d'un forn de curat, on es calenta fins a uns 200 °C, i on és laminada i polimeritzada.



*Fig 3.39 Curat de la llana*

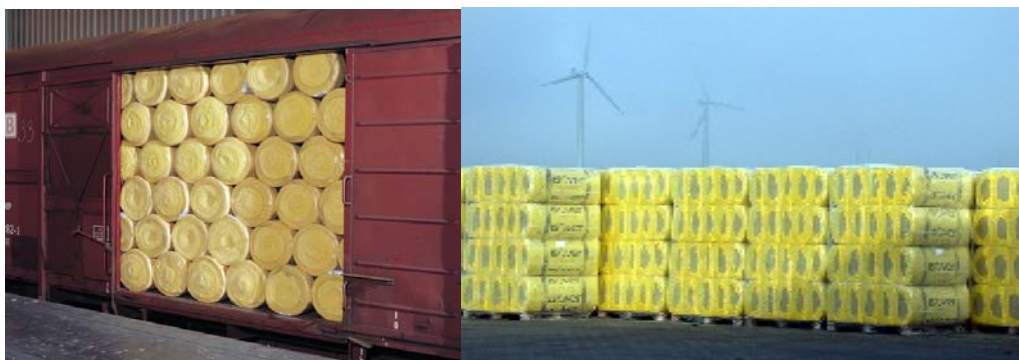
## Acabat i empaquetat

La malla de llana de vidre es talla a les dimensions requerides. Els trossos sobrants dels talls són reciclats al procés de producció. La presentació final varia de feltres a pannells o mantes.



*Fig 3.40 Diferents acabats de la llana de vidre*

Abans de l'empaquetament els productes són fortament comprimits, el que beneficia a l'elasticitat i als avantatges de recobriment del material. Es pot reduir més de 10 vegades el volum del producte en l'empaquetat, fent-lo molt més fàcil i barat en el maneig, emmagatzematge i transport als llocs de consum.



*Fig 3.41 Emmagatzematge del producte*

### 3.2.2.3 Formes de comercialització

A continuació analitzarem els tipus de presentació de la llana de vidre d'un fabricant d'aquest producte en particular, que més ens interessen de cara a la nostra fabricació, per tenir una idea de les possibles solucions que es poden adoptar.

#### Feltres



Fig 3.42 Operaris col·locant feltres de llana de vidre

#### Descripció

Manta lleugera de llana de vidre.

#### Aplicacions

Aïllament tèrmic i acústic de cobertes metàl·liques en sandvitx.

#### Dimensions

Gruix (mm)	Llarg (m)	Ample (m)
80	13,00	1,20
100	10,00	1,20

Taula 3.5 Dimensions dels feltres de llana

#### Característiques tècniques

##### *Conductivitat tèrmica*

$\leq 0,044 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$  a  $10^\circ\text{C}$

### Resistència tèrmica:

Temperatura mitjana: 10 °C	
Gruix (mm)	Resistència tèrmica (m <sup>2</sup> · K)/W
80	≥1,75
100	≥2,20

Taula 3.6 Resistència tèrmica dels feltres

### Reacció al foc

Euroclasse A1 (M0 incombustible).

### Comportament a l'aigua

No hidròfil.

### Dilatació i contracció

Material totalment estable.

### Corrosió

No corrosiu, segons certificat I-4/87 de l'Institut de Ceràmica i Vidre.

### Resistència a les vibracions

El producte ha estat sotmès a vibracions verticals de 900 cicles/minut i amb una de amplitud 6,3 mm. Després de dues hores s'han obtingut els següents resultats:

- Despreniment nul.
- Cediment: 0 mm.

### Absorció acústica

Coeficient d'absorció α Sabine							
Freqüència (Hz)		125	250	500	1.000	2.000	4.000
Gruix (mm)	30	0,10	0,32	0,55	0,66	0,79	0,77
	50	0,19	0,43	0,77	0,82	0,94	0,83
	100	0,54	0,87	1,00	0,96	0,97	0,93

Taula 3.7 Absorció acústica dels feltres de llana de vidre

### Conductivitat tèrmica $W/(m \cdot K)$

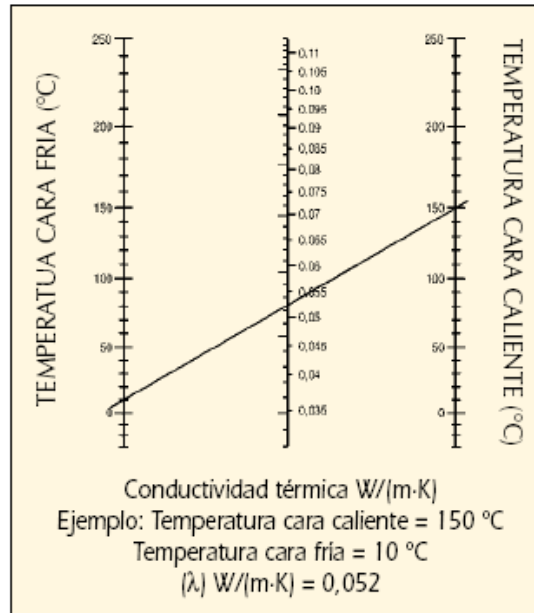


Fig 3.43 Gràfic on s'expressa la conductivitat tèrmica dels feltres

### Borra



Fig 3.44 Operari manipulant borra

### Descripció

Llana de vidre a dojo, amb una lleugera imprimació amb oli mineral per facilitar la seva manipulació.

### Aplicacions

Aïllament tèrmic:

- Instal·lacions a mitjana i baixa temperatura.
- Forns de fleca.
- Calderes de calefacció.

### Densitat de retacat

Habitualment de 50 a 70 kg/m<sup>3</sup>.

### Dimensions

Sacs de polietilè	Capacitat (kg)
	10,00

*Taula 3.8 Dimensions de la borra*

### Característiques tècniques

#### *Reacció al foc*

Classificació A1 i M0 (no combustible).

#### *Temperatura límit de funcionament*

500 °C en règim continu.

#### *Comportament a l'aigua:*

No hidròfil.

#### *Dilatació i contracció*

Material totalment estable.

#### *Corrosió*

No corrosiu.

*Conductivitat tèrmica W/(m·K)*  
(densitat 70 kg/m<sup>3</sup>)

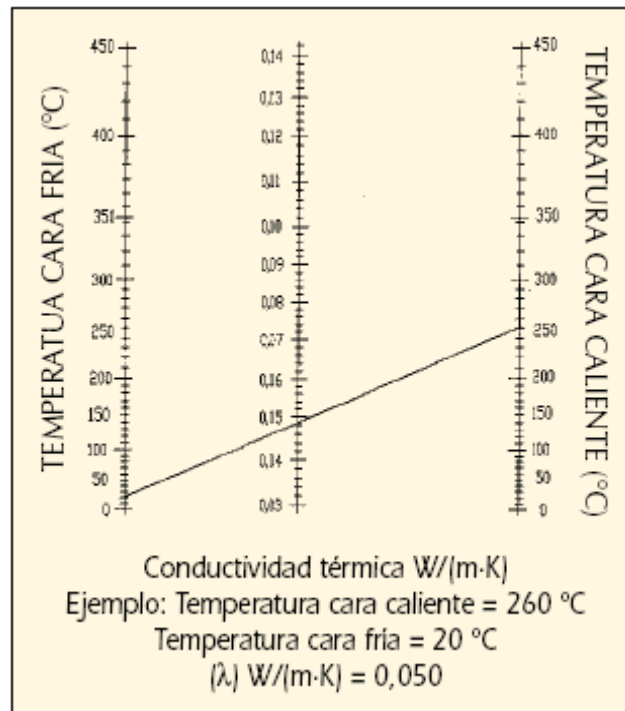


Fig 3.45 Gràfic que expressa la conductivitat tèrmica de la borra



### 3.2.3 Material elàstic: cautxú E.P.D.M.

Els cautxús E.P.D.M són termolímers d'etilè i propilè i un tercer diè no conjugat. La cadena principal d'aquests polímers és saturada. Formulats adequadament, els vulcanitzats d'E.P.D.M posseeixen les següents característiques generals:

- Excepcional resistència a entorns agressius.
- Excel·lent resistència a la intempèrie, als raigs ultraviolats i a la humitat.
- Excel·lent resistència a l'ozó.
- Molt bona resistència al calor.
- Molt bona resistència a les baixes temperatures.
- Bona resistència a la deformació remanent per compressió i a la recuperació elàstica després d'una deformació imposada.

Aquest cautxú permet així mateix una alta productivitat, aspecte interessant per a aconseguir oferir un preu molt competitiu, i un precís control dimensional.

És per tot això, que aquest cautxú sintètic satisfà adequadament els requeriments exigits a les juntes destinades a oferir una bona estanqueïtat i comportament en la seva aplicació per a fusteria d'alumini i P.V.C.

#### **Cautxú EPDM COLOR NEGRE**

Ref.	Pes Espec.	Duresa	Carg. Ruptura	Allarg.	Desg.	Defor. Reman.			Temp. Treball
	g/cm <sup>3</sup>	Shore A	M Pa	%	N/mm	C	h	%	°C
E350	1,04	30	8	640		70	22	25	-40/110
E450	1,07	40	9	500	19	70	22	40	-40/110
E550	1,17	50	9	450	23	70	22	35	-40/115
E602	1,30	60	6,9	500	25	70	22	20	-40/120
E646	1,16	65	11	250	27	100	22	25	-40/140
E647	1,16	65	10	300	27	70	22	25	-40/120
E715	1,16	70	10	250	30	70	22	20	-40/120
E701	1,31	70	7	300	20	70	22	30	-40/120
E757	1,18	75	10	225	30	70	22	20	-40/120
E850	1,16	80	10	225	30	70	22	40	-35/120

### Caucho EPDM COLOR NEGRO - AGUA POTABLE

Ref.	Peso Espec.	Dureza	Carg. Rotura	Alarg.	Desg.	Defor. Reman.			Temp. Trabajo
	g/cm3	Shore A	M Pa	%	N/mm	C	h	%	°C
E645	1,18	70	11	250	27	70	22	20	-40/120
E935	1,18	85	10	200	30	70	22	48	-35/120

### Caucho EPDM COLORES

Ref.	Peso Espec.	Dureza	Carg. Rotura	Alarg.	Desg.	Defor. Reman.			Temp. Trabajo
	g/cm3	Shore A	M Pa	%	N/mm	C	h	%	°C
E566 Green	1,23	60	9	350	18	70	22	40	-40/115
E666 Green	1,32	70	9	300	23	70	22	40	-40/115
E469 White	1,26	50	9	400	17	70	22	30	-40/110
E569 White	1,25	60	9	350	18	70	22	40	-40/115
E669 White	1,32	70	9	300	23	70	22	40	-40/115
E849 White	1,38	80	5	200	20	70	22	60	-30/110

Taula 3.9 Característiques tècniques de diferents tipus de cautxú EPDM

### 3.3 Estudi dels diferents processos productius

En les següents pàgines farem un estudi exhaustiu dels processos productius necessaris per a la fabricació de totes les peces que componen el silenciós, analitzant totes les diverses opcions i mètodes amb les que es pot desenvolupar cada procés.

Després d'aquí ja es sabrà d'una forma clara com s'han de fabricar les peces, entenent els processos necessaris per a dur a terme cada operació i sabent els factors i recomanacions més indicats per a cada cas.

Per a la selecció del mètode productiu per a cada procés entre les opcions disponibles, es tindran en compte factors com la facilitat d'operació, la rendibilitat econòmica, o la seguretat dels treballadors.

### 3.3.1 Procés de tall

#### 3.3.1.1 Operacions de tall convencional

Els processos convencionals de treballat de làmines metàl·liques inclou operacions de tall i format realitzades sobre làmines primes de metall. L'espessor del material pot ser tan petit com varies dècimes de mil·límetre, però la major part dels espessor del metall estan entre 0,4 mm i 6 mm. Quan l'espessor excedeix de 6 mm s'anomena placa en lloc de làmina. El material que s'utilitza en el treball mecànic de làmines es produeix per laminat.

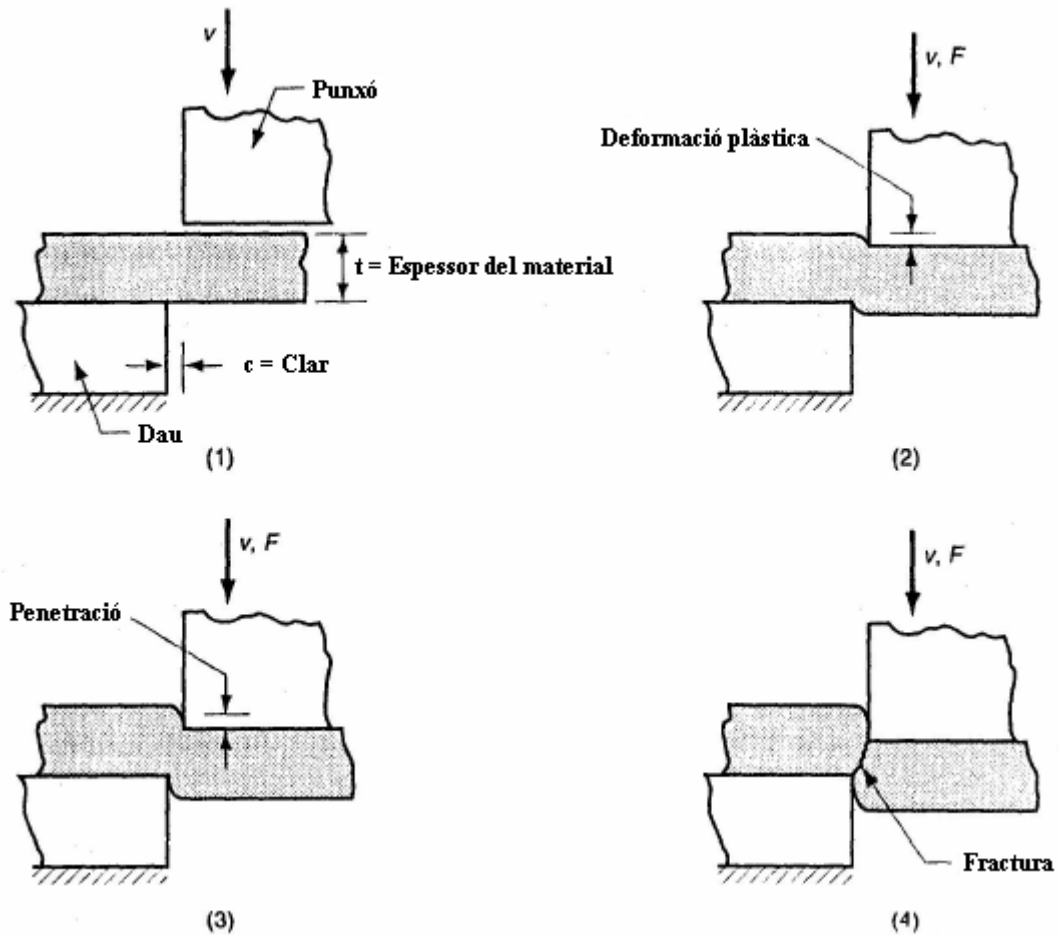
La majoria dels processos amb làmines metàl·liques es realitza a temperatura ambient (treballat en fred). Excepte quan el material és gruixut, fràgil o la deformació és significativa.

El tallat s'utilitza per a separar làmines grans en peces menors, per a tallar un perímetre o per a fer forats en una part. Les eines que s'utilitzen per a realitzar aquestes operacions s'anomenen punxó i matriu, la majoria de les operacions mecàniques amb làmines metàl·liques s'executen en màquines – eina anomenades premses. S'usa el terme premsa de troquelat per a distingir aquestes premses de les premses de forjat i extrusió.

##### 3.3.1.1.1 Operacions de tall mecànic

El tall de làmines es realitza per una acció de cisalla entre dues vores afilades. L'acció de cisalla es descriu en els quatre passos esquematitzats en la figura de sota, on la vora superior de tall (el punxó) es mou cap avall sobrepassant la vora estacionària inferior de tall (el dau).

Quan el punxó comença a empènyer el material de treball, té lloc una deformació plàstica en les superfícies de la làmina, a la vegada que aquest es mou cap avall ocorre la penetració, en la qual comprimeix la làmina i talla el metall. Aquesta zona de penetració és generalment una tercera part de l'espessor de la làmina. A mesura que el punxó continua el seu viatge dintre del treball, s'inicia la fractura del material de treball entre les dues vores de tall. Si el clar entre el punxó i el dau és correcte, les dues línies de fractura es troben i el resultat és una separació neta del material de treball en dues peces.



Cisallat o tall d'una làmina metàl·lica entre dues vores tallants: (1) immediatament abans de que el punxó entri en contacte amb el material, (2) el punxó comença a comprimir el material de treball causant deformació plàstica, (3) el punxó comprimeix i penetra al material de treball formant una superfície llisa de tall i (4) s'inicia la fractura entre les dues vores de tall oposades que separen la làmina. Els símbols  $v$  i  $F$  indiquen velocitat i força aplicada, respectivament.

Fig 3.46 Cisallat d'una làmina metàl·lica

Les vores cisallades de la làmina tenen formes característiques que es mostren en la figura posterior. Damunt de la superfície de tall hi ha una regió que es diu arrodonit. Aquest correspon a la compressió feta pel punxó en el material de treball abans de començar el tall. Aquí és on comença la deformació plàstica del material de treball; just a sota de l'arrodonit hi ha una regió relativament llisa anomenada brunyit. Aquesta resulta de la penetració del punxó en el material abans de començar la fractura. Sota del brunyit està la zona de fractura, una superfície relativament tosca de la vora de tall on el moviment continu del punxó cap avall causa la fractura del metall. Finalment al fons de la vora està la rebava, un fil causat per l'elongació del metall durant la separació final de les dues peces.

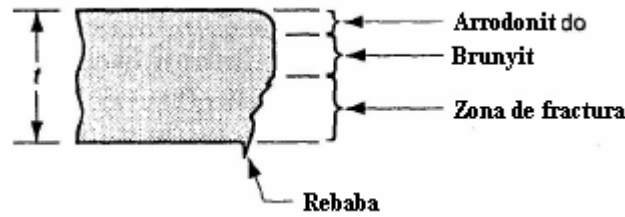
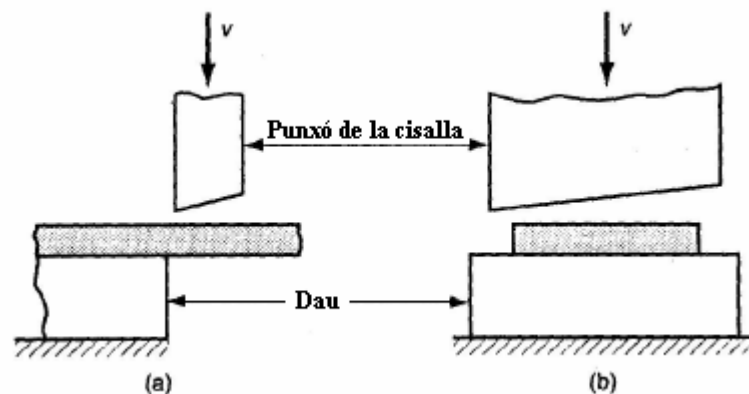


Fig 3.47 Vores cisallades característiques del material de treball

## Cisallat, punxonat i perforat

El cisallat, punxonat i perforat són les tres operacions de tall que es poden desenvolupar en una premsa.

El cisallat és l'operació de tall d'una làmina de metall al llarg d'una línia recta entre dues vores de tall com es mostra en la figura (a) de avall. El cisallat s'usa típicament per a reduir grans làmines a seccions més petites per a operacions posteriors de premsat. S'executa en una màquina anomenada cisalla de potència o cisalla recta. La fulla superior de la cisalla de potència està freqüentment esbiaixada, com es mostra en la figura (b), per a reduir la força requerida de tall.



(a) vista lateral de l'operació, (b) vista frontal de la cisalla equipada amb una ganiveta superior esbiaixada. El símbol  $v$  indica velocitat.

Fig 3.48 Operació de cisallat

El punxonat implica el tall d'una làmina de metall al llarg d'una línia tancada en un sol pas per a separar la peça del material circumdant, com es mostra en la figura (a) de sota. La part que es talla és el producte desitjat en l'operació i es designa com la part o peça desitjada. El perforat és molt similar al punxonat, excepte que la peça que es talla es rebutja i es diu trossaria. El material romanent és la part desitjada. La distinció s'il·lustra en la figura (b).

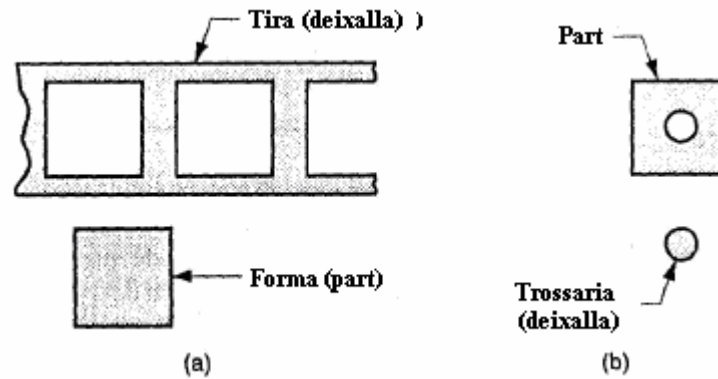


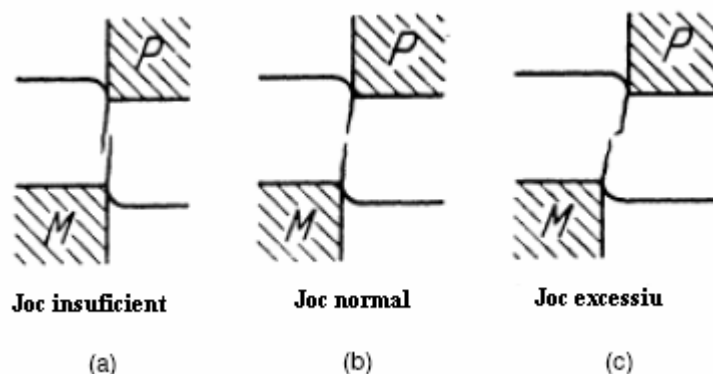
Fig 3.49 (a) Punxonat i (b) perforat.

## Anàlisi d'enginyeria del tall de làmines metàl·liques

Els paràmetres importants en el tall de làmines metàl·liques són el clar entre el punxó i el dau, l'espessor del material, el tipus de metall i la seva resistència, i la longitud del tall. A continuació examinem alguns aspectes relacionats,

### Clar

En una operació de tall, el clar  $c$  és la distància entre el punxó i el dau, tal com es mostra en la figura següent. Els clars típics en el premsat convencional fluctuen entre 4 i 8% de l'espessor de la làmina metàl·lica  $t$ . L'efecte dels clars inadequats també s'il·lustra en la figura. Si el clar és massa petit, les línies de fractura tendeixen a passar una sobre una altra, causant un doble brunyit i requerint major força de tall. Si el clar és massa gran, les vores de tall pessiguen el metall i resulta una rebava excessiva. En operacions especials que requereixen vores molt rectes com en el rasurat i el perforat, el clar és solament el 1 % de l'espessor del material.



(a) un clar massa petit ocasiona una fractura poc menys que òptima i forces excessives, (b) clar normal ocasiona un tall òptim, (c) un clar massa gran ocasiona rebava més gran.

Fig 3.50 Efecte del clar



El clar correcte depèn del tipus de làmina i del seu espessor. El clar recomanat es pot calcular per la següent fórmula:

$$c = at$$

On

$c$  = clar, (mm);

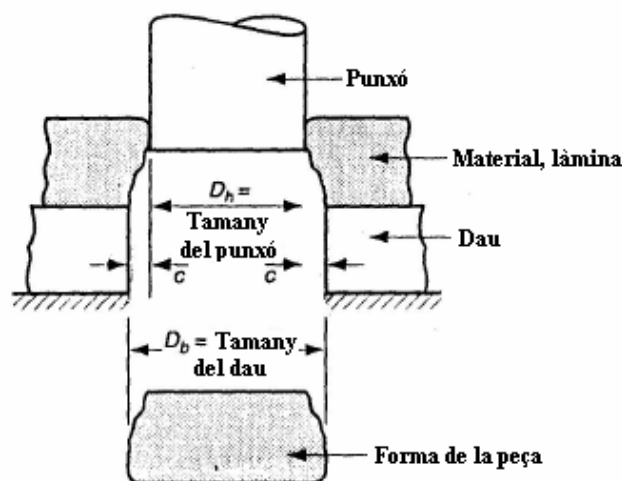
$a$  = tolerància;

$t$  = espessor del material (mm)

La tolerància es determina d'acord amb el tipus de metall. Els metalls es classifiquen per conveniència en tres grups donats a la taula següent amb un valor de  $a$  associat a cada grup

Grup metàl·lic	$a$
Aleacions d'alumini, tots els trempats 1100S i 5052S	0,045
Aleacions d'alumini 2024ST i 6061ST; llautó, tots els trempats; acer suau laminat en fred; acer inoxidable fred	0,060
Acer laminat en fred, duresa mitjana; acer inoxidable duresa mitjana i alta	0,075

Taula 3.10 Tolerància dels metalls



La grandària del dau determina la grandària de la forma  $D_b$ ; la grandària del punxó determina la grandària del forat  $D_h$ .

Fig 3.51 Dau i punxó

Els valors calculats del clar es poden aplicar al punxonat convencional i a les operacions de perforat de forats per determinar la grandària del punxó i del dau adequat. És evident que l'obertura del dau ha de ser sempre més gran que el diàmetre del punxó, d'això dependre que les parts sobrants siguin discos, com s'il·lustra a la figura anterior per una part circular.

Degut a la geometria de la vora cisallada, la grandària del punxó i del dau per a una forma o part rodona de diàmetre  $D_b$  es determina com segueix:

$$\text{Diàmetre del punxó de tall de formes} = D_b - 2c$$

$$\text{Diàmetre del dau de tall de formes} = D_b$$

Les grandàries del dau i del punxó per a un forat rodó de diàmetre  $D_h$  es determinen com segueix:

$$\text{Diàmetre del punxó per a tall de forats} = D_h$$

$$\text{Diàmetre del dau per a tall de forats} = D_h + 2c$$

Per a que les formes o la trossaria caiguin a través del dau, l'obertura del dau ha de tenir un clar angular entre  $0,25^\circ$  i  $1,5^\circ$  de cada costat. El clar angular es mostra a la figura següent.

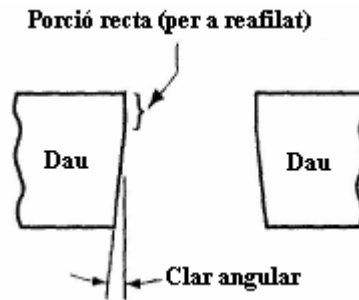


Fig 3.52 Clar angular

### Forces de tall

És important estimar la força de tall perquè aquesta determina la grandària (tonatge) de la premsa necessària. La força de tall  $F$  en el treball de làmines pot determinar-se per:

$$F = StL$$

On

$S$  = resistència al tall de la làmina, (Pa);

$t$  = espessor del material (m);

$L$  = longitud de la vora de tall, (m).

Al punxonat, perforat, rasurat i operacions similars,  $L$  és la longitud del perímetre de la forma o forat que es talla. En la determinació de  $L$  es pot anular l'efecte menor del clar.

Si es desconeix la resistència al tall, es pot estimar la força de tall mitjançant l'ús de la resistència a la tensió, de la següent manera

$$F = 0,7TS tL$$

On

$TS$  = resistència última a la tensió, (MPa).

L'equació anterior estima la força de tall, suposant que el tall sencer es fa al mateix temps al llarg de tota la vora de tall. En aquest cas la força de tall serà un màxim. És possible, reduir la força màxima usant una vora de tall esbiaixada en el punxó o en el dau. L'angle (anomenat angle de tall) distribueix el tall en el temps i redueix la força que s'experimenta a cada moment. De qualsevol manera, l'energia total requerida en l'operació és la mateixa, ja sigui que es concentri en un breu moment o es distribueixi sobre un període més llarg.

## Altres operacions del tall de làmines metàl·liques

A demés del cisallat, punxonat i perforat hi ha algunes altres operacions de tall amb làmines. El mecanisme de tall en cada cas involucra les mateixes operacions de tall analitzades prèviament.

### Tall en trossos i partit

El tall en trossos és una operació de tall en la qual les parts es separen d'una tira de làmina metàl·lica tallant la vora oposada de la part en seqüència, com es mostra en la figura de mes avall (a). Cada tall produeix una nova part. Les característiques que distingeixen l'operació de tall en trossos del tall convencional són que 1) les vores de tall no són necessàriament rectes, i 2) les parts es poden empalmar en la tira de tal manera que s'eviti el desapfitament.

El partit involucra el tall d'una tira de làmina per un punxó amb dues vores de tall que coincideixen amb les vores oposades de la part desitjada, com es mostra en la figura (b). Això pot requerir-se quan els contorns de la part tenen forma irregular que impedeixen el seu entroncament perfecte en la tira. El partit és menys eficient que el tall en trossos degut al fet que produeix algun material de desapfitament.

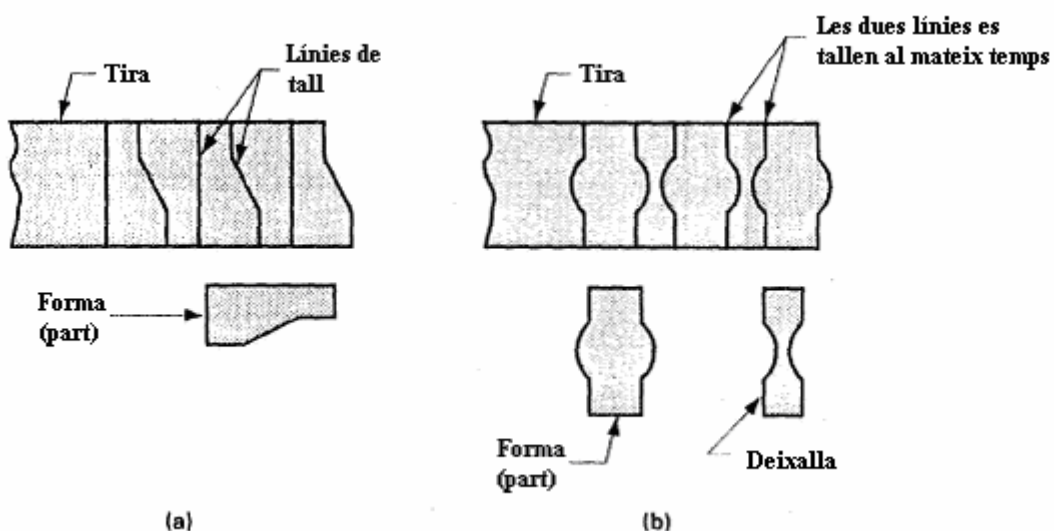


Fig 3.53 (a) Tall en trossos i (b) partit

## Ranurat, perforat múltiple i moscat

El terme de ranurat s'usa algunes vegades per a l'operació de punxonat en la qual es talla un forat rectangular o allargat, com es mostra a la figura de sota (a). El perforat múltiple involucra la perforació simultània de diversos forats en una làmina de metall, com es mostra en la figura (b). El patró de forats té generalment propòsits decoratius o per a permetre el pas de la llum, gasos o fluids.

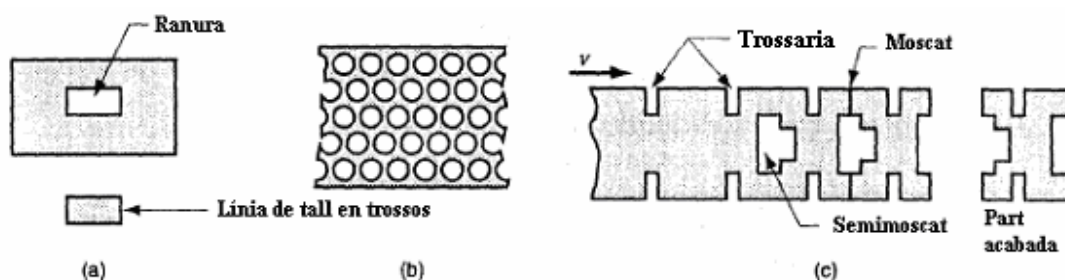


Fig 3.54 (a) Ranurat, (b) perforat múltiple, (c) moscat i semimoscat. El símbol  $v$  indica velocitat

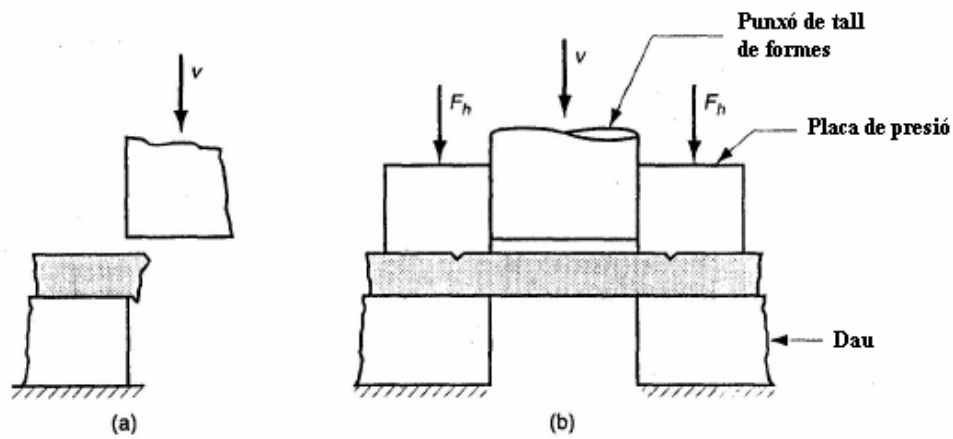
Per a obtenir el contorn desitjat de la peça, es tallen freqüentment porcions de làmina per moscat o semimoscat. El moscat és el tall només en una de les cares de la làmina. El semimoscat retalla una porció interior de la làmina; Aquestes operacions es descriuen en la figura anterior (c). La diferència entre el semimoscat i l'operació de perforat o ranurat és que el metall remogut pel semimoscat crea part del contorn de la peça, mentre que el perforat i el ranurat generen forats en la peça.

## Retallat, rasurat i punxonat fi

El retallat és una operació de tall que es realitza en una part ja formada per a remoure l'excés de metall i fixar la seva grandària. Un exemple típic és el retallat de la porció superior d'una copa feta per embotir profund per a fixar la dimensió desitjada.

El rasurat és una operació de tall realitzada amb un clar molt petit destinada a obtenir dimensions precises i vores llises i rectes, tal com es mostra en la figura que hi ha a continuació (a). El rasurat és una operació secundària típica o d'acabat que s'aplica sobre parts que han estat tallades prèviament.

El punxonat fi és una operació de cisallat que s'usa per a tallar parts amb toleràncies molt estretes i obtenir vores rectes i llises en un sol pas. La disposició típica per a aquesta operació s'il·lustra en la figura (b). Al principi del cicle, una placa de pressió amb sortints en forma de V aplica una força de subjecció  $Fh$  contra la làmina adjacent al punxó, a fi de comprimir el metall i prevenir la distorsió. El punxó descendeix llavors amb una velocitat més baixa del normal i amb clars més reduïts per a produir les dimensions i les vores de tall desitjades. El procés es reserva usualment per a espessors relativament petits del material.



(a) Rasurat i (b) punxonat fi. Els símbols  $v$  = velocitat del punxó i  $F_h$  = força de subjecció de la forma.

Fig 3.55 Rasurat i punxonat fi

### 3.3.1.2 Operacions de tall no convencional

Entre aquells processos no convencionals el camp d'aplicació dels quals és principalment el tall de xapa, es pot realitzar una particular classificació que ens duu a englobar molts d'ells (90% de les aplicacions industrials) en només un grup denominat processos de tall per raig (beam cutting processes). En aquests processos, l'eina se situa en posició perpendicular a la superfície de la xapa. El raig incideix en aquesta direcció i talla la xapa. La naturalesa del raig determina una segona classificació dels diferents processos de tall per raig:

- Aquells processos que utilitzen l'acció mecànica directa, ja sigui d'un únic material o combinant-lo amb abrasius, per a incidir sobre el material a tallar, es denominen processos de tall per raig mecànic (mechanical beam processes). S'utilitzen quan no poden emprar-se tècniques tradicionals a causa de la duresa del material, a la seva extrema fragilitat o, principalment, quan poden resultar danyats si es mecanitzen per processos elèctrics o tèrmics (sensibilitat a altes temperatures). Cal citar, dintre dels processos d'aquesta naturalesa, el tall per raig d'aigua amb o sense abrasius (waterjet machining, WJM i abrasive waterjet machining, AWJM) i el tall per raig d'aire amb abrasius (abrasive jet machining, AJM).
- Quan la separació del material es deguda principalment a aquest efecte de les altes temperatures localitzades sobre una petita zona de material, estem davant els processos de tall per raigs tèrmics. Tenen un ampli camp d'aplicació, i ocupen un segment cada vegada major del mercat. Això es deu en part, no només a l'increment en el nombre de màquines, sinó també a la diversitat de fonts d'energia utilitzades per a provocar l'augment tèrmic localitzat. El oxicall (flame or oxygen-flame cutting), l'arc de plasma (plasma arc system) i el làser (laser beam cutting) són els principals processos aplicables a la xapa. El tall per feix d'electrons (electron beam cutting) pertany també a aquest tipus de processos, però no està indicat per al tall 2D de xapa, sinó més aviat per a mecanitzat de precisió en el trepat de petits forats, gravat, tractaments tèrmics, etc.

Un paràmetre crític que presenten tots aquests processos al voltant de la línia de tall és la zona afectada tèrmicament (ZAT) al voltant de la línia de tall. Actualment existeixen treballs encaminats a reduir aquesta zona, no només controlant els paràmetres de tall sinó millorant i/o assajant noves tecnologies. En el tall per làser es redueixen significativament les amples zones ZAT que presenten processos com el plasma o el oxicall (1-4 mm), arribant-se a en condicions òptimes i utilitzant processos com el làser, valors de 0.1 mm. Aquesta disminució de la ZAT, en certs processos tèrmics, redunda en la possibilitat de tallar materials sensibles a la calor com plàstics, teles, etc. augmentant sensiblement el seu camp d'aplicació.

### 3.3.1.2.1 Tall de xapa per làser

#### El procés de tall per làser

Des de que a principis del segle XX es va postular que la transició entre estats d'energia a l'excitar un àtom pot emetre un fotó, fins als nostres dies, ha variat en gran mida l'ús que s'ha donat a l'energia làser. El feix de llum coherent obtingut a la sortida d'un ressonador òptic per excitació del mitjà actiu és un feix làser (acrònim de "Light Amplification by the Stimulated Emission of Radiation"), que degudament tractat es convertirà en una font d'energia d'alt aprofitament. Les característiques pròpies de l'energia làser possibiliten la seva utilització d'una manera molt directa en aplicacions industrials actuals de processat de materials en general i de tall de xapa en particular.

El procés consisteix en la focalització del feix làser en un punt del material que es desitja tractar, perquè aquest fongui i evapori assolint-se així el tall. Com pretén simbolitzar la figura de sota, el feix làser, amb una determinada potència procedent del generador i d'un sistema de conducció, arribarà al capçal. Dintre d'aquest, un grup òptic s'encarrega de focalitzar el feix amb un diàmetre determinat, sobre un punt d'interès del material a tractar. El posicionament del punt focal del llamp respecte de la superfície que es desitja tallar és un paràmetre crític. El procés requereix d'un gas d'assistència, que s'aplica mitjançant el propi filtre del capçal, coaxial al propi llamp làser. Aquest gas pot ser inert per a evitar oxidacions o actiu per a catalitzar el procés. Al seu torn afavoreix l'eliminació de material fos, vapor i plasma de la zona de tall. És típica l'aparició de certes estries o rugositats en les superfícies tallades. La conjunció de tots aquests factors, juntament amb uns altres com la velocitat relativa entre el capçal i la peça, produeixen una densitat d'energia (amb valors característics en ordre de magnitud de  $\text{MW}/\text{cm}^2$ ), que origina el tall per a cada tipus de material.

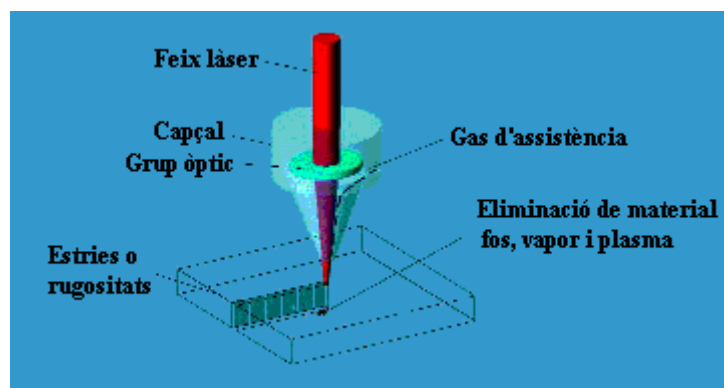


Fig 3.56 Modelat representatiu del procés de tall

Encara que l'aplicació majoritària del tall amb làser es dona en materials metàl·lics, altre tipus de materials com goma, vidre, cuir, o fusta són susceptibles de ser tallats amb aquest mètode. En aplicacions de tall làser de materials metàl·lics han de tenir-se en compte aspectes com qualitat del material o possibles recobriments (oli, òxid, pintures, etc.) com condicionaments importants del resultat final.



D'entre totes les característiques genèriques del processat làser, les quals s'exposen a continuació tenen un major protagonisme en el cas concret del procés industrial de tallat de xapa.

- **Possibilitat d'actuar sobre zones de grandària reduïda.**

El diàmetre del spot que incideix sobre la superfície a tallar té un valor mig entorn de les tres desenes de mil·límetre. Això implica la consecució de soles de tall molt estrets de dimensions molt semblants a les del propi spot o lleugerament superiors. Així mateix, les distorsions que origina en el material són mínimes.

- **Accessibilitat.**

La possibilitat de transmetre el feix làser mitjançant fibra òptica fa que, muntat un capçal de tall en un robot antropomòrfic, es pugui arribar a qualsevol orientació de tall dintre del camp de treball del robot.

- **No contacte mecànic amb la peça.**

No es produeix desgast de l'eina per contacte ja que el grup òptic que enfoca el feix origina que en posició de treball existeixi una separació entre el filtre del que surt el llamp i la peça.

- **Sistemes sofisticats.**

La programació es fa d'una forma còmoda i precisa. Els dispositius poden incloure taules de paràmetres per a tallar diferents materials. És possible l'automatització del procés així com la comunicació de la màquina làser amb altre tipus de dispositius com CNC, centres de processat, elements de control de qualitat, sistemes de gestió d'errors i alarmes així com dispositius de monitoratge on-line de la màquina i del procés làser.

El gran desavantatge que presenta el tallat de xapa per làser enfront d'altres procediments resideix principalment en l'espessor màxim que es pot tallar. Altres procediments com l'oxitall, tall per plasma, electroerosió o tall per aigua permeten tallar espessors majors que el làser. Solament el tall per punxonat té la limitació de tallar espessors menors que els que talla el làser.

## Aplicació industrial del tall per làser

Entre les aplicacions industrials del làser per a processat de materials es calcula que entorn del 60% de l'activitat està dedicada al tall. Una de les indústries que majoritàriament absorbeix aquesta activitat és la indústria de l'automòbil i la indústria auxiliar de l'automòbil.

A continuació es presenten uns exemples que caracteritzen i justifiquen l'ús del tall làser de xapa tridimensional en el sector de l'automòbil:

- Eina necessària en tallat de preseries en el procés de fabricació d'encunys tallants.
- Alternativa de cost acceptable a l'ús d'encunys tallants. Es deu considerar aquesta aplicació únicament en casos de sèries limitades.
- Tallat ràpid de pannells de carrosseria per a l'automòbil.
- Redueix l'estoc en sèries especials possibilitant tallar opcionalment. És possible que el sector auxiliar subministri un tipus de peça, que depenent d'opcions de venda del vehicle podrà ser tallada o no en la cadena de producció d'una manera opcional, per exemple just en l'etapa anterior al procés de pintat.
- Les cèl·lules de tall són flexibles i reduïdes i si inclouen un robot, adquireixen totes les possibilitats de reprogramació i reutilització que introdueix aquest últim.



Fig 3.57 Cèl·lula de tall robotitzada



Fig 3.58 Cèl·lula de tall làser de CO<sub>2</sub>

## Dispositius per al tall per làser

Es poden definir els dispositius per a tall per làser com aquells que són capaços de transmetre l'energia que proporciona un generador fins al material a tractar per a realitzar el procés. Tots els sistemes làser industrials contenen amb els següents elements fonamentals:

### • Generador làser:

És l'encarregat de subministrar el feix làser amb unes característiques (potència, freqüència, etc.) programades.

### • Sistema de conducció del llamp i focalització final:

S'encarrega de transmetre el llamp làser fins al punt desitjat del material a processar.

### • Sistema de manipulació (de peça o de font):

Existeixen dues possibilitats, així com possibles combinacions d'ambdues: Una possibilitat

consisteix a deixar la peça fixada i moure el sistema de focalització i l'altra possibilitat seria la de fixar el capçal làser i desplaçar la peça que es desitja tallar.

- **Dispositius de control, dispositius auxiliars i sensors:**

Els equips de tall làser estan proveïts d'un sistema de control que permet la seva programació. Així mateix, el procés de tall pot ser monitoritzat i supervisat per mitjà de sensors. La informació obtinguda es pot utilitzar en sistemes de control, sistemes d'inspecció de qualitat o per a conèixer l'estat de la màquina làser entre uns altres.

- **Sistema de seguretat:**

Per a evitar el risc que provoca la radiació làser o els materials que es tallen.

- **Subministrament de gas de procés:**

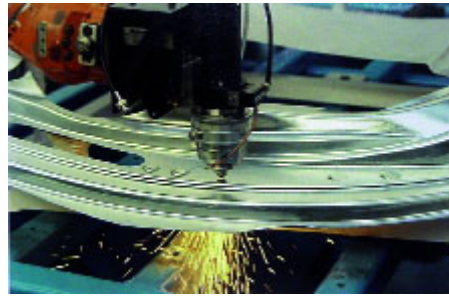
Com s'ha explicat anteriorment és necessari gas de suport per a afavorir el procés làser.

## Classificació dels dispositius per a tall de xapa per làser

Els làser més utilitzats en aplicacions de tall industrials són els de Nd:YAG i els de CO<sub>2</sub>. Es denominen així fent referència al mitjà actiu del seu generador, és a dir en el primer cas el làser es genera a partir de l'excitació de cristall de YAG dopat amb ions de Nd mentre que en el segon cas s'excita un gas compost de CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub> i He. Encara que existeixen diferències en les característiques del llamp làser que es genera en l'un i l'altre cas, de cara al disseny dels dispositius industrials per a operacions de tall de xapa l'elecció d'un sistema enfront d'un altre estarà principalment influenciada per la diferent via de transmissió del feix. Mentre que en els sistemes de CO<sub>2</sub> el feix làser es transmet a través de miralls fins a incidir sobre la peça que es desitja tallar, els làsers de Nd:YAG permeten a més que aquesta transmissió de feix es pugui fer a través de fibra òptica.

La possibilitat de transmetre el feix làser a través de fibra òptica dota de gran versatilitat a l'opció del làser de Nd:YAG. En aplicacions de tall 2D o de xapa plana el capçal làser sol estar estàtic i és la xapa la que es desplaça en una taula XY. En aquests casos el sistema més estès és el de CO<sub>2</sub>. No obstant això, en aplicacions de tall làser tridimensional o de xapa embotida la possibilitat de transmetre el feix làser per fibra de vidre fa dels làser de Nd:YAG una opció molt potent. Entre altres avantatges d'aquests sistemes està la de poder integrar un equip làser de Nd:YAG sobre un robot antropomòrfic (de 6 eixos angulars) d'ús general. Això aporta al procés de tall totes les propietats intrínseques del robot com s'ha descrit anteriorment.

Els dispositius utilitzats per a tall de xapa tridimensional són els pòrtics i els robots. Qualsevol d'ells es pot usar amb els dos tipus de làser descrits, encara que les dues configuracions més esteses són les de pòrtic de CO<sub>2</sub> i robot amb Nd:YAG. Els pòrtics són estructures amb almenys tres eixos cartesianes (que permeten posicionar el capçal en l'espai tridimensional) i generalment altres dos eixos angulars per a poder reorientar l'eina dintre del camp de treball.



*Fig 3.59 Robot amb làser de tall transmès per fibra òptica*

Els pòrtics, de major robustesa mecànica, es caracteritzen per una major precisió de posicionament 0.01 mm) i per un comportament uniforme en tot el volum de treball. Els robots industrials tenen pitjor precisió (menor que 0.2 mm) i el seu comportament dinàmic depèn de la configuració instantània dels eixos. Entre els avantatges dels robots industrials (antropomòrfics) citarem la seva senzilla integració en planta i millor accessibilitat i major abast de l'eina de tall.



*Fig 3.60 Armari de control comunicat amb la cèl·lula de tall.*

### 3.3.1.2.2 Tall de xapa mitjançant oxicall

#### Tecnologia

#### El procés

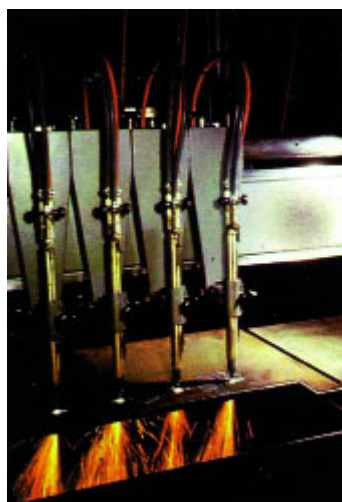
El procés va ser desenvolupat completament en el segle XX i les seves primeres aplicacions es van portar a terme a Europa. No obstant això, el seu total desenvolupament fins al que avui coneixem per oxicall es va produir als Estats Units durant la primer quart del segle XX.

El procés d'oxicall, al contrari del que pugui semblar, no consisteix en una fusió del metall, el tall es produeix per una literal combustió del mateix. En altres paraules al tallar cremem el metall a mesura que avancem amb el bufador. Per aquesta raó, la presència d'aleants es fa crítica, ja que minven la capacitat de l'acer a ser cremat.

Perquè es produeixi una reacció de combustió són necessaris tres requisits; presència de combustible (a la seva temperatura d'ignició), presència de comburent (en una mínima proporció), i un agent iniciador. En el procés d'oxicall, el combustible és el Fe, el comburent l'O<sub>2</sub>, i l'agent iniciador la flama del bufador. En condicions normals, encara que apliquem un agent iniciador a una peça d'acer, aquesta no crema espontàniament per dos motius; el Fe contingut no està a la seva temperatura d'ignició (aproximadament 870°C) i l'O<sub>2</sub> atmosfèric no és prou pur (l'O<sub>2</sub> atmosfèric es troba en una proporció del 20% i la proporció mínima necessària per a cremar el Fe és un 87%).

#### El bufador

El bufador de tall juga tres papers distints: dur el Fe contingut en l'acer a la seva temperatura d'ignició, aportar una atmosfera envoltant amb una proporció major que la mínima necessària en O<sub>2</sub> i, finalment, generar l'agent iniciador.



*Fig 3.61 Quatre bufadors treballant simultàniament sobre la mateixa xapa*

Per al primer el bufador de tall utilitza part de l'O<sub>2</sub> disponible per a barrejar-lo amb el gas combustible i així crear la flama de preescalfament formada per un anell de flames en el

filtre de tall. La flama de preescalfament pot arribar a temperatures entre 2.425°C i 3.320°C depenent del tipus de gas utilitzat i la riquesa d'O<sub>2</sub> en la barreja. La proporció d'O<sub>2</sub> i gas en la barreja per al preescalfament es controla a través de les dues vàlvules que incorpora el bufador. Amb la flama de preescalfament ben ajustada, s'acosta aquesta a la peça a tallar fins que s'arriba a la temperatura d'ignició. Una vegada arribada aquesta, el metall es torna en un color taronja brillant i poden veure's algunes espurnes saltar de la superfície.

En aquest moment ha de ser accionada la palanca del bufador per a permetre la sortida per l'orifici central del filtre d'un raig d'O<sub>2</sub> pur (anomenat raig de tall). Així s'aconsegueix enriquir en O<sub>2</sub> l'atmosfera que envolta la peça preescalfada perquè sigui possible la combustió.

Immediatament, i gràcies a la presència de la flama de preescalfament que actua també com agent iniciador, comença la reacció exotèrmica de combustió del Fe, que ens durà finalment al tall de la peça. Com tota combustió, la reacció d'oxidació del Fe és altament exotèrmica, i precisament aquesta enorme quantitat d'energia despresa en la reacció ajuda a dur les zones confrontants a la temperatura d'ignició, i poder així progressar en l'acció del tall.

Espesor (mm)	Diàmetre boquilla (mm)	Presiones O <sub>2</sub> en el soplete (bar)	Velocidad de corte (m/h)
5	0,6	1,5	20
8	0,8	1,5	17
10	1	1,5	15
15	1	2	12
20	1	2,5	11,5
25	1,5	2,5	10
30	1,5	2,5	9,5
40	2	3	8,5
50	2	3,5	7
75	2	4	5,5
100	2,5	4	4,5

tabla 1.- Valores recomendados para Oxicorte

Taula 3.11 Valors recomanats per a oxitall en funció del material

L'òxid resultant de la combustió flueix constantment per la ranura, les parets de la qual escalfa propagant la reacció de combustió. Per a obtenir talls nets i econòmics, és convenient no utilitzar pressions d'O<sub>2</sub> massa elevades. Sovint els fabricants de màquines d'oxitall subministren taules tecnològiques amb els valors més recomanats de pressió, velocitat de tall, etc. en funció de l'espessor del material a tallar (taula anterior).

En alguns casos, les taules inclouen dades relatives a la sagnia del tall (taula de baix) en funció de la pressió (proporcional a l'espessor), i del tipus de bufador utilitzat (per a xamfrans, de tipus doble o triple, etc.). Altres taules aporten dades del consum dels diferents gasos utilitzats amb la finalitat de poder determinar el cost de les operacions de tall.



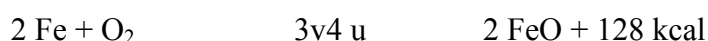
VALORES RECOMENDADOS PARA OXICORTE									
SOPLETE SIMPLE					SOPLETE DOBLE, DE CHAFLANES, ETC.				
Espesor (mm)	Presión O <sub>2</sub> (bar)	Sangría % kerf (mm)	Velocidad de corte (mm/min)		Espesor (mm)	Presión O <sub>2</sub> (bar)	Sangría % kerf (mm)	Velocidad de corte (mm/min)	
			Recto	Curvo				Recto	Curvo
3 ÷ 4 5 ÷ 6	2 4	1	700 730	600 630	3 5 10	2 ÷ 4	1.5	800 750 700	530 480 400
6 ÷ 7 8 ÷ 9 10 15	5 ÷ 7.5	1.6	730 700 660 620	630 600 560 520	10 15 20 25	3 ÷ 4	2	640 550 520 500	450 400 360 330
15 20 25	7 ÷ 8	1.9	620 560 520	520 460 420	25 30 40 50	4 ÷ 5	2.5	530 450 400 350	360 300 260 250
25 30 35 40	7.5 ÷ 8.5	2.3	520 500 480 430	420 400 380 360	50 60 80	4 ÷ 5	3	390 320 300	260 230 210
40 50 60	7 ÷ 7.5	2.2 ÷ 2.4	430 410 390	360 310 290	80 100 120	4 ÷ 5	3.5 ÷ 4	320 300 270	220 200 170
60 75 100	6 ÷ 8	3.2 ÷ 3.5	390 340 330	290 270 250	120 150 200	5 ÷ 6	4.5 ÷ 5.5	300 200 170	190 150 120
100 150 200	7.5	3.5 ÷ 3.8	340 260 170	250 210 160	200 250 300	6	5.5 ÷ 6	190 140 120	130 110 90
200 250 300	7.5	4 4.2 8	170 150 130	160 140 110					

Taula 3.12 Valors recomanats per a oxitall en funció de la sagnia de tall

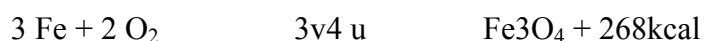
## La combustió del Fe

A la combustió del Fe, s'observen les següents reaccions químiques estequiomètrica-ment igualades:

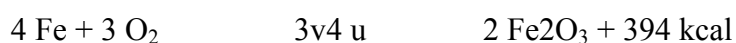
1a reacció:



2a reacció:



3a reacció:



Per a poder comparar les tres reaccions, devem prendre les taxes de calor alliberada per kg de Fe, que són respectivament: 1.142 kcal, 1.598 kcal i 1.762 kcal. Encara que la tercera equació és la més exotèrmica, i per tant, sembla ser la més espontània (teòricament ho és), en la pràctica no és la reacció predominant ja que la quantitat d'O<sub>2</sub> necessària per a cremar 1 kg de Fe seguint cadascuna de les reaccions és respectivament: 200, 267 i 300 l. Per tant, la pràctica ens mostra que mentre la tercera reacció solament es dona en l'oxitall de grans seccions (on s'aplica un abundant raig d'O<sub>2</sub> de tall), la primera i la segona són molt més comunes.

A mesura que el Fe va sent oxidat i es formen els seus òxids corresponents, aquests, i part del Fe de la peça, es van fonent per l'acció tèrmica en joc i van sent expulsats per l'acció física del raig d'O<sub>2</sub>. La propietat dels òxids de Fe de fondre a temperatures semblants al Fe atòmic fa possible el fenomen de l'oxitall. Aquesta propietat és excepcional, ja que la majoria dels metalls fonen a temperatures menors que els seus òxids. Precisament per aquest motiu metalls com l'Al, Mg o Cr no poden ser tallats per aquest procés atès que els seus òxids fonen a una temperatura molt major que la seva fase atòmica.

És per això que l'aplicació fonamental d'oxitall, i per a la qual està dissenyat, és el tall d'acers de baix contingut en Carboni (normalment entre 0,1% i 0,3%) i sota contingut en aleants. La presència en altes concentracions dels aleants normalment presents en l'acer afecta a la capacitat del procés de tallar el metall. Elements com el Mn, Si, P i S, afecten poc a aquesta capacitat quan estan presents en concentracions normals. Per altra banda, elements com el Cr, Ni, Mo, i per descomptat el C, reduïxen la capacitat de tall de l'O<sub>2</sub> existint alguns límits a partir dels quals el tall no és possible: 5% per al Cr, 7% per al Ni, etc...

Abans d'intentar tallar una xapa mitjançant oxitall, han de tenir-se en compte els elements aleants continguts en el seu material, les seves combinacions, exactament igual a com deu fer-se abans d'aplicar un tractament tèrmic o un enduriment a la flama. Tots els metalls deuen examinar-se, no solament des del punt de vista dels aleants que contenen, sinó també de les propietats que les combinacions d'aquests aleants tenen.

## El preescalfament

La principal funció de la flama de preescalfament és dur la peça fins a la temperatura d'ignició, que com s'ha esmentat anteriorment és d'aproximadament 870°C. No obstant això, la flama de preescalfament té altres funcions:

- Netejar la superfície de la peça a tallar de qualsevol substància estranya com òxid, brutícia, escates, no només durant el preescalfament sinó també durant l'acció de tall.
- Ajudar a arribar a la temperatura d'ignició a mesura que s'avança amb el tall.
- Mantenir un entorn de protecció al voltant del raig d'O<sub>2</sub> de tall.
- Preescalfar l'O<sub>2</sub> contingut en el raig de tall fent-lo més reactiu.
- Ajudar a mantenir les escòries produïdes en la ranura del tall en estat fluid perquè puguin ser expulsades.



## El raig d'O<sub>2</sub> de tall

Tal com s'ha explicat anteriorment, és obvi que l'O<sub>2</sub> de tall juga un paper principal durant l'operació de tall. La seva puresa deu ser del 99,5% o superior. Una pèrdua de puresa d'un 1% implica una pèrdua de velocitat d'avanç d'aproximadament un 25% i al seu torn incrementa el consum d'O<sub>2</sub> en aproximadament un 25%. Amb una puresa d'O<sub>2</sub> d'un 95% l'acció de tall per oxidació és impossible d'aconseguir i es transforma en una acció de fusió i neteja.

Per aconseguir la millor qualitat en el tall, sempre deuen observar-se les recomanacions del fabricant dels equips de tall referents a:

- Grandària del filtre en funció del grossor de xapa a tallar.
- Ajustament de la flama de preescalfament.
- Pressió de gas.
- Pressió d'O<sub>2</sub> de tall.
- Velocitat de tall. Si se segueixen correctament les recomanacions s'aconseguirà un tall adequat.
- Cares de tall perpendiculars amb unes aigües suaus.
- Absència de mossegades.
- Cantell superior angulós, ni arrodonit ni fos.
- Cantell inferior lliure d'escòries i rebaves.

Existeixen moltes aplicacions d'oxitall en les quals no es requereixen aquests nivells de qualitat i normalment s'accepten talls més bastos. Aquest és el cas més general en el qual la superfície del tall va a ser coberta amb soldadura, amagada dintre de la peça a fabricar o coberta amb pintura. Si la qualitat que se li exigeix al tall no és la màxima, la velocitat d'avanç pot ser, en molts casos, incrementada.

## Màquines d'oxitall

La màquina d'oxitall consta d'un pòrtic sobre el qual es munta el bufador, de manera que la seva velocitat de desplaçament és constant i es manté invariablement a l'altura i inclinació correctes, condicions essencials per a obtenir talls nets i econòmics. Normalment es controlen també les pressions de tots els gasos. La majoria de les màquines-eina d'aquest tipus incorporen la possibilitat d'utilitzar també bufadors de plasma, els quals es munten sobre el pòrtic d'igual forma que els d'oxitall, però acoblant-los ara als diferents gasos que requereix el plasma.



Fig 3.62 Màquina d'oxitall. Detall del pòrtic amb varis bufadors

Hi ha molts models de màquines d'oxitall, des de la màquina portàtil, que es dóna suport i es desplaça sobre la xapa, fins a la màquina fixa, amb una o diversos caps de tall, capaces de tallar xapes d'espessors molt diversos. Encara avui dia, és habitual veure màquines que utilitzen un dispositiu de lectura o copiador òptic que va seguint el contorn de la/s peça/s a tallar dibuixades sobre un plànol fixat sobre una taula incorporada a la màquina. No obstant això, cada dia és més comú la incorporació del control numèric (CN) a la màquina d'oxitall, de tal forma que la geometria i els paràmetres tecnològics s'introdueixen en el CN en forma d'un programa codificat. La instal·lació d'una màquina d'oxitall, encara dotada de control numèric, no és molt costosa si es compara amb qualsevol altra màquina-eina.

Tant amb l'ús dels copiadors òptics com del CN, l'oxitall permet realitzar tot tipus de talls rectilinis i corbs sobre xapes d'acer de qualsevol espessor, o sobre perfils, tubs, etc. Poden tallar-se en bones condicions xapes superposades, fins i tot molt primes, si estan bé subjectes unes contra altres. Quan el bufador està ben regulat (pressió, barreja i velocitats adequades), els talls són uniformes i presenten bon aspecte; només cal un posterior i senzill desbarbat per a obtenir un acabat acceptable. Encara que depèn de l'aplicació, freqüentment es deixen les vores tal com queden després del tall.

### 3.3.1.2.3 Tall per plasma

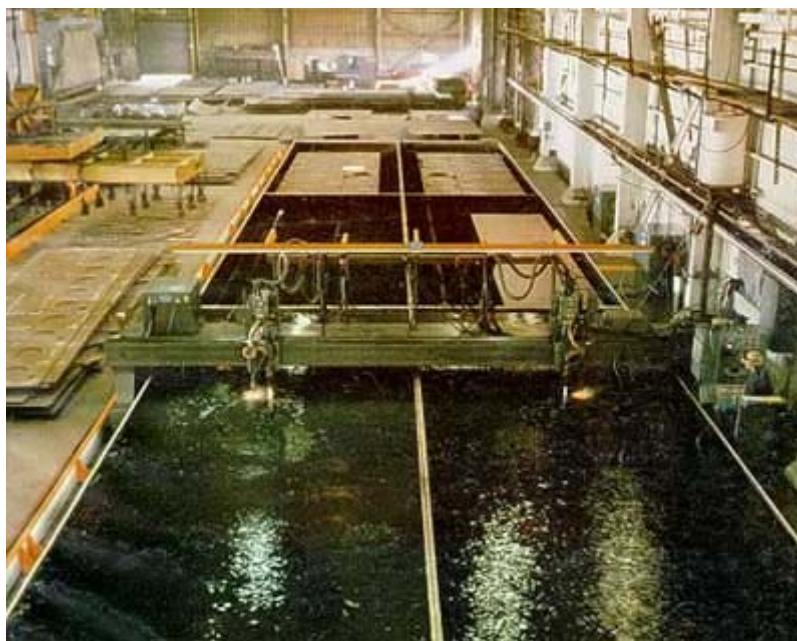
#### Introducció

En La Segona Guerra Mundial, les fàbriques dels Estats Units produïen armament, artilleria, i avions gairebé cinc vegades més ràpidament que les potències europees. Això era en gran part gràcies a les enormes innovacions de la indústria privada en el camp de la producció en massa.

Un àrea de la innovació va sorgir de la necessitat de tallar i ensamblar peces dels avions més eficientment. Moltes fàbriques que treballaven en l'avió militar van adoptar un nou mètode de soldadura que va implicar l'ús d'un gas inert alimentat a través d'un arc voltaic. El descobriment era que carregaven el gas amb un corrent elèctric formant una barrera al voltant de la soldadura, que ho protegia de l'oxidació. Aquest nou mètode va suposar línies molt més netes en els empalmes i construccions molt més robustes.

A principis dels anys 60, els enginyers van fer un nou descobriment. Van suposar que podrien estimular les temperatures accelerant el flux del gas i contraïent el forat de sortida. El nou sistema podia arribar a temperatures més altes que qualsevol altre soldador comercial. De fet, en aquestes altes temperatures, l'eina ja no actuava com a soldador. En el seu lloc, treballava com una serra, tallant els metalls més resistents com un ganivet calent a través de la mantega.

La introducció de l'arc de plasma va revolucionar la velocitat, l'exactitud i els tipus de talls que els fabricants podien fer en tots els tipus de metalls.



*Fig 3.63 Així és com era el tallador de plasma al 1980*

## Estats de la matèria

Un tallador del plasma pot passar a través dels metalls amb poc o gens de resistència gràcies a les característiques úniques del plasma. Però, què és el plasma?

Hi ha quatre estats de la matèria en el món. La majoria de les coses que ens envolten en la nostra vida diària estan en forma de sòlids, líquids, o gasos. Aquests estats es divideixen basant-se en la manera que es comporten les molècules dintre de cadascun. Prenguem l'aigua com exemple:

- Com sòlid, l'aigua pren la forma de gel. El gel es compon d'àtoms amb càrrega neutra disposats en un patró hexagonal que formen un sòlid. Perquè les molècules encara romanen bastant inalterables entre elles, el que origina la seva forma.
- Com líquid, l'aigua pren la seva forma bebible. Les molècules encara estan limitades les unes a les altres, però es mouen respecte a les altres a velocitats reduïdes. El líquid té un volum fix, però cap forma constant. Es deforma per a cabre en qualsevol envàs que es posi.
- Com gas, l'aigua pren la forma de vapor. En el vapor, les molècules es mouen a altes velocitats, independentment de les altres. Ja que les molècules no estan limitades les unes a les altres, un gas no té cap forma fixa o volum fix.

La quantitat de calor (que es tradueix en la quantitat d'energia) aplicada a les molècules d'aigua determina el seu comportament i per tant el seu estat. Més calor (més energia) excita les molècules fins al punt que es trenquen lliurement els enllaços que les mantenen unides. Amb la calor mínima, les molècules estan unides fermament, i s'aconsegueix un sòlid. Amb més calor, les molècules escapen dels enllaços rígids, i s'aconsegueix un líquid. Amb encara més calor, les molècules escapen dels enllaços fluïdos, i s'aconsegueix un gas.

Què succeiria si s'escalfés el gas encara més? Això ens duu al quart estat de la matèria: el plasma.

## Què és el plasma?

Si es duu un gas a temperatures extremadament altes, s'aconsegueix el plasma. L'energia comença a trencar les molècules del gas, i els àtoms comencen a partir-se. Els àtoms normals es componen de protons i de neutrons en el nucli, envoltat per un núvol d'electrons. En el plasma, els electrons es separen del nucli. Una vegada que l'energia de la calor allibera els electrons de l'àtom, els electrons comencen a moure's al voltant ràpidament. Els electrons es carreguen negativament, i es van darrere dels seus nuclis positivament carregats. Aquests nuclis positivament carregats es coneixen com ions.

Quan els electrons ràpids xoquen amb altres electrons i ions, llancen quantitats extenses d'energia. Aquesta energia és la que dona al plasma el seu estat únic i la seva increïble potència de tall.

**Quasi el 99 per cent de tota la matèria de l'univers és plasma. No és comú a la terra per les seves altes temperatures; però en alguns llocs com el Sol, és el normal. A la terra el podem trobar per exemple als llamps.**

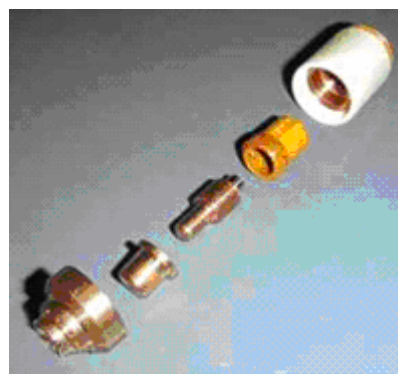


*Fig 3.64 El plasma el podem trobar als llamps*

## Interior d'un tallador de plasma

Els talladors de plasma són de totes les formes i grandàries. Hi ha talladors monstruosos de plasma que utilitzen braços robòtics per a fer incisions precises. Hi ha també compactes, unitats de mà que es poden trobar en alguna botiga de bricolatge. Sense importar la grandària, tots els talladors de plasma funcionen amb el mateix principi i es construeixen aproximadament al voltant del mateix disseny.

Els talladors de plasma funcionen enviant un gas presuritzat, per exemple el nitrogen, argó, o oxigen, a través d'un canal petit. En el centre d'aquest canal, es troba un elèctrode negatiuament carregat. Quan s'aplica energia a l'elèctrode negatiu, i es toca l'extremitat de l'injector al metall, la connexió crea un circuit. Una espurna de gran abast es genera entre l'elèctrode i el metall. Com el gas inert passa a través del canal, l'espurna escalfa el gas fins que arriba al quart estat de la matèria. Aquesta reacció crea un corrent dirigit de plasma, d'aproximadament 30.000 °F (16.649 °C) i que es mou a 20.000 peus per segon (6.096 m/s), això redueix el metall a escòria fosa.



Interior d'un tallador de plasma: l'elèctrode està al centre, i l'injector està just a sota. La peça taronja és un anell en espiral, que provoca que el plasma giri ràpid al seu pas.

*Fig 3.65 Interior d'un tallador de plasma*



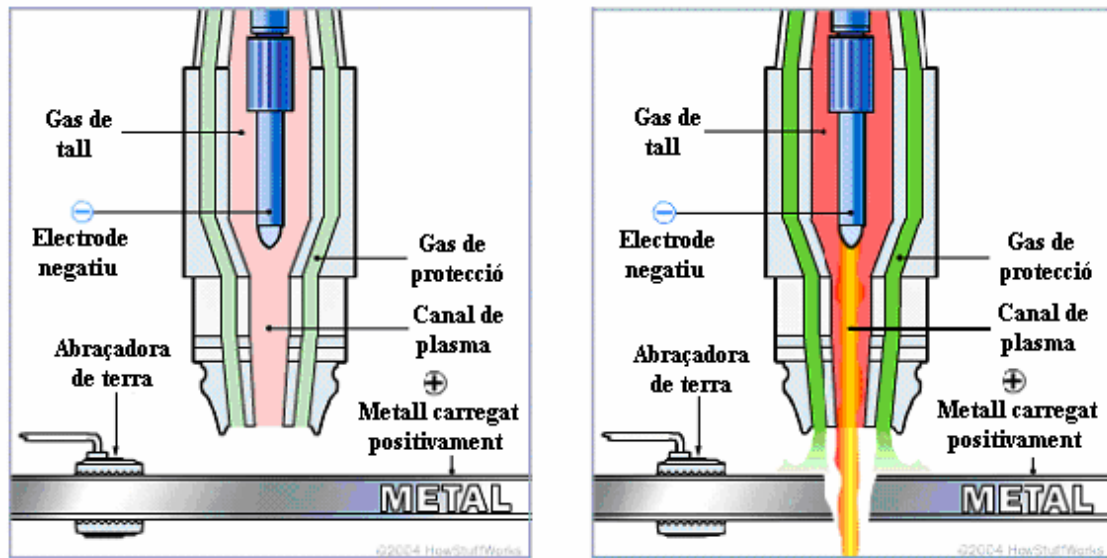


Fig 3.66 Parts d'un tallador de plasma

El plasma per si mateix condueix el corrent elèctric. El cicle de crear l'arc és continu mentre que l'energia es proveeixi a l'elèctrode i el plasma romangui en contacte amb el metall que s'està tallant. Per a assegurar aquest contacte, es protegeix el tall contra l'oxidació i es regula la naturalesa imprevisible del plasma, l'injector del tallador té un segon sistema de canals. Aquests canals llancen un flux constant de gas de protecció al voltant de l'àrea de tall. La pressió d'aquest flux de gas controla amb eficàcia el radi de la columna de plasma.

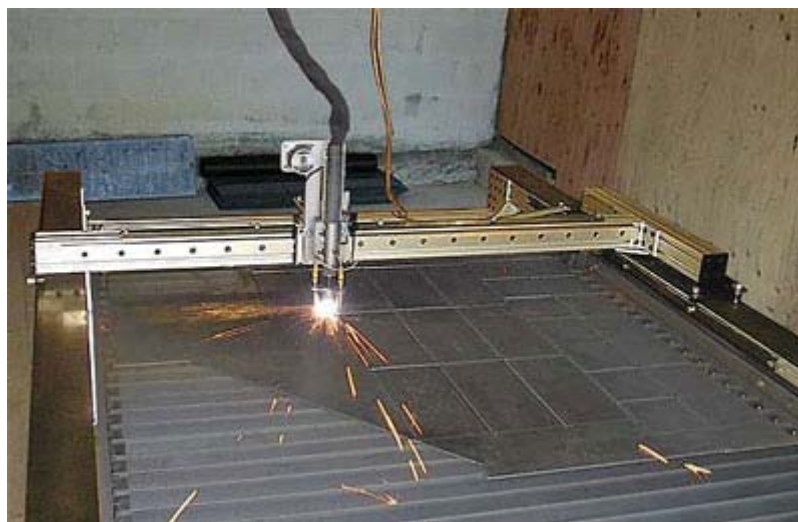


Fig 3.67 Tallador de plasma amb control numèric

### 3.3.1.2.4 Tall per aigua

#### Introducció

Les tecnologies del raig d'aigua i del raig abrasiu han estat utilitzant-se des de fa anys. El tall per aigua ha estat una tecnologia especialitzada usada en una àmplia varietat d'indústries des de voltants de 1970 . Cap a 1990, van ser introduïts grans avanços en la tecnologia que l'han fet molt popular. Actualment hi ha moltes companyies que guanyen molts diners substituint i complementant les màquina convencionals de per mètodes de tall per raig d'aigua.

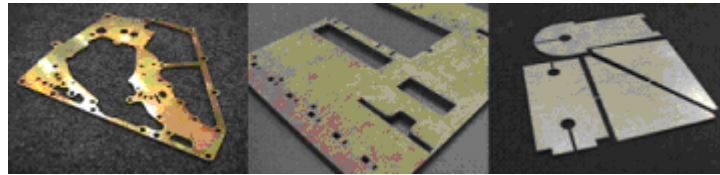


Fig 3.68 Peces obtingudes amb tall per aigua

És important entendre que el raig d'aigua no és el mateix que el raig abrasiu, encara que són gairebé iguals. La tecnologia del raig d'aigua ha estat utilitzant-se des dels anys 70, i el raig abrasiu va ampliar el concepte prop de 10 anys més endavant.

Ambdues tecnologies utilitzen el principi de l'aigua que es presuritza a pressions extremadament altes, i es permet que l'aigua s'escapi per una obertura molt petita (típicament anomenada "orifici" o "joia").

El raig d'aigua utilitza la biga de l'aigua que surt de l'orifici (o de la joia) per a tallar material suau com bolquers i barres de caramel, però no és eficaç per a materials més durs de tall.

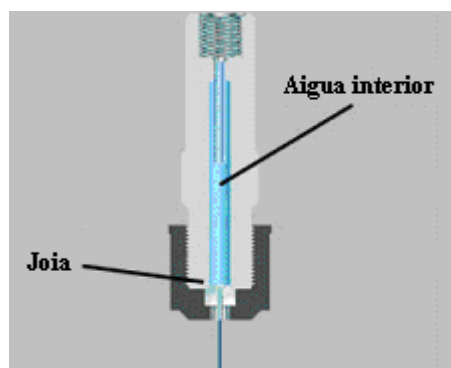


Fig 3.69 Injector de raig d'aigua

L'aigua d'entrada es presuritza normalment entre 1300 i 4000 bars. Aquest aigua és forçada a passar a través d'un forat minúscul en la joia, que és normalment de 0.18 a 0.4 mm de diàmetre, això crea una columna d'aigua de velocitat molt alta.

El raig abrasiu utilitza la mateixa columna d'aigua per a accelerar partícules abrasives a velocitats lo bastant ràpides per a tallar materials molt més durs.

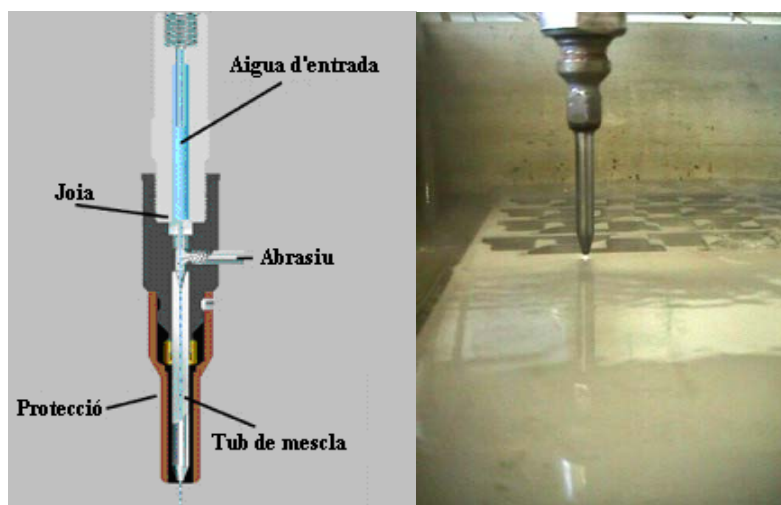


Fig 3.70 Diagrama de raig abrasiu Fig 3.71 Injector sense protecció

A continuació es mostra una taula on es relacionen els alguns dels diferents materials que es poden tallar amb els dos sistemes:

Injector de raig d'aigua	Injector de raig abrasiu	
Goma tova	Acer	Plàstic
Espuma	Titani	Nylon
Materials extremadament	Alumini	Fibra de carboni
fins com fulles	Goma dura	Acer inoxidable
Catifes	Ferro	Granit
Paper i cartró	Coure	Ceràmiques
Barres de caramel	Materials exòtics	Llautó
Bolquers	Fustes gruixudes o dures	Marbre
Fustes fines o toves	Vidre (fins i tot a prova de	
Tot tipus de materials tous	bales)	

Taula 3.13 diferents materials que es poden tallar amb els dos sistemes

Moltes màquines permeten l'intercanvi entre els dos tipus d'injectors en qüestió de minuts. D'aquesta manera, es pot passar de treballar amb un sistema de raig abrasiu al sistema de raig d'aigua si es pretén tallar algun material més tou, d'una manera molt simple.

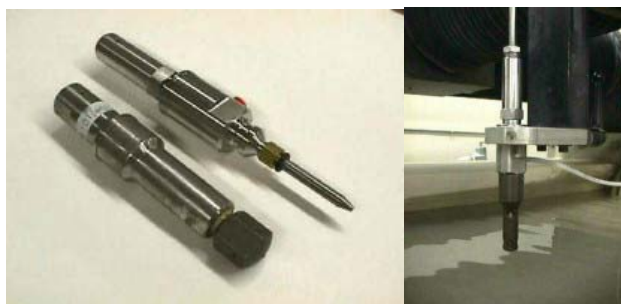


Fig 3.72 Típic injector de raig d'aigua

Fig 3.73 Injector de raig abrasiu



## Limitacions dels injectors de raig d'aigua

Els únics problemes que es poden trobar amb un injector d'aigua solament estaran amb la joia (l'orifici amb el forat minúscul per on surt el raig d'aigua).

Les joies poden esquerdar-se, taponar-se, o formar dipòsits en elles. L'esquerdat i el tapat succeeix com a resultat d'aigua bruta en l'entrada, i s'evita fàcilment amb la filtració apropiada. Els dipòsits s'acumulen gradualment com a resultat dels minerals que hi ha en l'aigua. Les joies es substitueixen fàcilment en 2 - 10 min., i són barates. Hi ha també a la venda orificis de diamant però són molt més cars que els convencionals. Els orificis de diamant, no són normalment tan bons com els de safir a causa de dificultats de la fabricació. La geometria de la joia és crítica per al funcionament, i aquesta geometria és difícil de fer de diamant. Quin és el millor realment depèn de la filosofia de funcionament, la disponibilitat i el cost.

## Limitacions dels injectors de raig abrasiu

A pesar del seu disseny simple, els injectors de raig abrasiu poden ser molestos ocasionalment. Hi ha molts dissenys, però comparteixen els mateixos problemes:

- Vida curta d'una peça costosa per desgast: el tub de mescla. El raig abrasiu pot tallar a través de gairebé qualsevol cosa, incloent-se a si mateix. Aquesta és una gran part de les despeses d'explotació.
- El tapat ocasional del tub de mescla: causat generalment per la brutícia o les partícules grans en el abrasiu (aquest era un gran problema amb els injectors de raig abrasiu, però actualment s'ha aconseguit solucionar).
- Desgast, desalineació, i danys en la joia.

## Avantatges de les màquines de tall per aigua

### **Programació extremadament ràpida**

No són requerits canvis de l'eina, així que no hi ha necessitat de programar canvis de l'eina o d'introduir eines múltiples. Per a alguns sistemes, la programació implica simplement dibuixar la peça.

### **Mecanitzar qualsevol forma 2D (i algunes 3D)**

Incloent radis interiors molt petits. Algunes màquines són capaces de mecanitzar en 3D (braços de robots, màquines (x,y) amb eix giratori, i màquines d'eixos (x,y)-(u,v)). Treballar amb màquines 3D és especialment difícil, per aquesta raó es reserva estrictament

per a aplicacions especials. És a dir els sistemes de raig abrasiu són excepcionals en treballs 2D, però limitats en la capacitat 3D.



*Fig 3.74 Dragó mecanitzat en un vidre a prova de bales de 2,5 mm de gruix, i en una placa de marbre*

### **Forces molt baixes durant el mecanitzat**

Això significa que es pot treballar amb peces amb les parets tan primes com 0.5 mil·límetres sense que volin cap a fora. Aquest és un dels factors que fan que la fixació d'aquests sistemes sigui tan fàcil. També, les forces laterals són baixes permetent el niat proper de peces, i un ús màxim del material.

### **Quasi cap generació de calor a la peça**

Es pot treballar sense endurir el material, generar fums verinosos, reescalfar o deformar. Es poden treballar les peces que han estat ja tractades tèrmicament amb solament una minúscula reducció de la velocitat. En la perforació de l'acer gruixut (50 mm), les temperatures poden ser tan altes com 50 °C, però normalment el treball es fa a temperatura ambient.

Les companyies aerospacials usen sistemes de raig abrasiu en gran part a causa de això.

## No perjudica el medi ambient

A part de les eines de mà, els sistemes de tall per aigua proporcionen el major respecte del medi ambient possible, més que qualsevol altre sistema. Algunes bombes fins i tot utilitzen oli vegetal per al lubricant ja que aquests sistemes s'utilitzen també en el sector alimentari.

Mentre no s'estigui treballant amb un material que sigui perillós, el material abrasiu i de deixalla gastada pot ser fins i tot beneficiós per a la terra. El color vermell de l'abrasiu també és agradable en els jardins. Si es treballa amb plom o altres materials perillosos, és necessari disposar d'un contenidor de deixalles apropiat, i reciclar l'aigua. Cal tenir present de totes maneres que aquest metall s'està traient actualment dels processos de tall. Això manté les conseqüències per al medi ambient relativament baixes, fins i tot si es treballa amb algun material perillós ocasionalment.



*Fig 3.75 Màquina de tall per aigua*

### 3.3.1.2.5 Problemàtica del tall de xapa i generació de trajectòries

Treballar amb una aplicació CAD/CAM destinada a la generació automàtica de trajectòries de tall 2D requereix inevitablement conèixer tota la problemàtica específica que presenta aquest procés.

Encara que aquest coneixement es centra principalment en els problemes que requereix la generació de trajectòries, inevitablement duu amb freqüència a tractar problemes relacionats amb la geometria de partida, constatant la dificultat afegida que comporta generar un trajectòria correcta si el perfil de la peça no està perfectament definit. Un tipus especial de geometria molt utilitzada en caldereria, com és el cas d'aquelles que provenen del desenvolupament pla de peces 3D de xapa (tremuges, colzes, etc.), també duen associat un tractament específic.

Altres problemes aportats per l'experiència dels usuaris, i relatius a temes tècnics com el control dels paràmetres tecnològics (espessor, velocitat, etc.) de cada procés, el postprocessat dels programes CN i la seva corresponent transmissió al control numèric de la màquina, etc., influeixen també decisivament en la manera que es generaran les trajectòries.

#### Problemàtica referent a la geometria de partida

Un primer aspecte que ha de contemplar una aplicació de CAD/CAM per a tall automàtic de xapa en 2D és la "identificació del perfil" de la peça a tallar, amb la finalitat de garantir una correcta generació de les trajectòries corresponents. En aquest sentit, es fa imprescindible un reconeixement automàtic de totes les entitats que conformin el dibuix seleccionat amb la finalitat de determinar exactament quin és el perfil de la peça i en defecte d'això, que errors presenta. Si durant aquesta identificació es detecta algun error, el sistema ha de ser capaç de corregir-lo (en la mesura del possible) d'acord amb l'usuari.

La geometria de partida en qualsevol sistema de CAD pot haver estat generada pel propi sistema o importada a través de formats normalitzats (DXF, IGES, etc.). Quan aquesta geometria es realitza sobre el propi sistema de CAD i s'orienta a la generació de trajectòries de tall en 2D, ha de tractar-se d'un perfil pla perfectament construït. En moltes ocasions, això no és així i sovint el delineant o programador comet errors inherents a la seva forma de treball, no selecciona adequadament els punts inicials o finals d'un segment per a enllaçar-lo amb el següent, duplica entitats (una damunt de l'altre), es produeixen creus d'elements que han de ser consecutius, etc. Aquest tipus de problemes han de ser solucionats si es volen evitar trajectòries errònies, talls repetits d'un mateix segment/s, etc.

Altres tipus de problemes associats a la geometria consisteixen en totes aquelles bifurcacions, zones d'entitats que es solapen, etc., que se solen produir durant el traçat manual a causa de l'ocupació d'elements auxiliars, textos o cotes que han hagut de ser esborrats posteriorment, etc. Els problemes d'aquest índole no són fàcils de detectar, ni tan sols ampliant la zona de treball. En el cas de creus i/o bifurcacions la detecció pot ser relativament senzilla, ampliant el dibuix fins que el defecte sigui visible. Probablement una funció de revisió mèdica a nivell de tota la informació associada al plànol o que

recorri automàticament el perfil a la recerca d'elements mal tancats, pot ser molt convenient en aquests casos.

Si el perfil de la peça a tallar no està correctament tancat, això és, si el punt final d'una entitat no coincideix exactament amb l'inicial de la següent, la trajectòria simplement no pot ser generada per falta de continuïtat. Si la distància de separació dels elements és gran, de l'ordre del kerf o compensació de l'eina, és possible que la geometria tingui realment un final en aquest extrem. En el cas que la distància de separació sigui igual o una mica més petita que la sagnia, la peça tallada no es correspondrà amb la que realment s'ha dibuixat, i quan aquesta distància de separació és molt més petita (menor de 1 mm) el més probable és que es tracti d'un error no detectat per l'usuari. En tots aquests casos, serà impossible generar la trajectòria completa desitjada.

L'últim dels casos esmentat anteriorment és un problema freqüent quan es treballa amb dibuixos generats amb altres sistemes de CAD. Aquí la pèrdua de precisió en els decimals associats als punts de la geometria que es té al utilitzar formats normalitzats (DXF o IGES) pot provocar problemes de contorns oberts molt difícils de detectar (fins i tot amb ampliacions successives) a primera vista, fins i tot de l'ordre de 10-12 mm, i en conseqüència la impossibilitat de generar correctament les trajectòries de tall.

## Geometries especials de partida

En els sectors de construcció metàl·lica i sobretot de caldereria, apareix un tipus diferent de problemes deguts a l'ús comú d'un tipus especial de peces. Es tracta de peces formades, total o parcialment per superfícies desenvolupables de xapa que a més presenten interseccions entre si.

El desenvolupament pla d'aquestes superfícies s'han vingut realitzant tradicionalment de forma manual, bé per mètodes gràfics de triangulació, utilitzant plantilles flexibles, etc. Els errors de precisió afegits per la diferència d'espessor del traçat manual se sumen als deguts a l'arrodoniment de decimals, etc. i a l'hora de la seva lectura per mitjà del copiador òptic de la màquina de tall, es tradueixen en una dificultat afegida per aconseguir les toleràncies dimensionals requerides, encara quan aquestes siguin àmplies (de l'ordre de  $\pm 1$  o 2 mm).

Per a la classificació dels desenvolupaments usualment emprats en caldereria, solen considerar-se una sèrie d'elements, agrupats per la seva forma:

- Cilindres
- Cons
- Colzes
- Pantalons
- Tremuges
- Transformadors

D'igual forma ha de resoldre's el desenvolupament de tot d'interseccions, cilindre-cilindre, cilindre-con, cilindre-colze, con-colze, etc.

Els paràmetres de definició de cadascun dels elements varia, fins i tot dintre del mateix grup de classificació. Entre aquests paràmetres de definició es troba el nombre de divisions desitjades per l'usuari per a obtenir el desenvolupament de les zones no planes. Sobre la base d'aquest nombre de divisions, obtindrem en el desenvolupament una major o menor precisió en les línies del contorn que definiran la peça en 3D. Un elevat nombre de divisions pot provocar un programa CN excessivament llarg (cada divisió generarà una línia) i, depenent del procés i del material, aquesta precisió pot no ser factible (a causa de una sagnia massa gran, etc.).

Així mateix, en el dibuix del desenvolupament s'han d'incloure les possibles línies de soldadura, amb la finalitat de possibilitar la divisió de la peça en dues o més parts quan la grandària del desenvolupament complet excedeixi al de la xapa base. Les línies de soldadura s'han fet coincidir, bé amb les generatrius de menor longitud de cada desenvolupament, o amb línies perpendiculars a la vora de la peça. D'aquesta forma, s'aconsegueix que els cordons de soldadura siguin el més reduïts possibles, permetent un estalvi en el temps, o facilitant el seu muntatge posterior.

En el cas d'elements simètrics, s'ha de contemplar la possibilitat d'obtenir només una de les parts del seu desenvolupament. El desenvolupament complet es pot construir utilitzant les eines del programa base CAD/CAM.

## Problemàtica en la generació de trajectòries

Els requeriments exposats per les empreses a l'hora de procedir a generar la trajectòries sobre una peça (dibuix) es poden agrupar en diversos apartats segons el procés de tall considerat, segons l'espessor de la xapa implicada, segons el tipus de CN (postprocessador) i la seva capacitat de memòria, etc. L'estudi de la problemàtica en funció de l'espessor de la xapa com paràmetre més significatiu, ha sigut la triada per a estructurar el present apartat, donada la seva major rellevància enfront de la resta de factors.

### Problemàtica en petits espessors

El tall de xapa de petit espessor, menor de 3 mm, sol requerir millors acabats. Implícitament, aquests petits espessors duen associat una zona afectada tèrmicament també menor, i si el sistema utilitzat és el tall per aigua o per làser ens podem situar en l'ordre del mil·límetre o les desenes de mil·límetre amb facilitat i amb un bon control dels paràmetres de tall. En el oxitall o en el plasma podem arribar a ZAT de 2 o 3 mil·límetres. Però fins i tot així, pot haver peces de xapa que requereixin millors acabats, no només quant a la zona tèrmica sinó també quant a la rugositat de la superfície de les vores. Un bon acabat de les peces (donat un material i espessor), que no exigeixi posteriors operacions de desbarbat, ha de ser controlat pels paràmetres tecnològics propis del procés (pressió d'O<sub>2</sub>, velocitats, etc.), però no s'ha d'oblidar que la forma de realitzar les



trajectòries de tall seguiran jugant un paper molt important. Sobretot en dues zones de la peça:

- En els cantons angulosos (amb angle exterior  $\geq 90^\circ$ ), on l'eina o bufador passa per velocitat nul·la.
- En les zones o punts d'Entrada/Sortida (E/S) del tall del perfil de la peça.

En els cantons pronunciats s'ha de disminuir la potència, bé programant-la en el postprocessat (làser) o controlant manualment la pressió del gas (oxitall o plasma), perquè la zona propera al cantó no resulti "danyada" o fosa. No obstant això sovint aquesta reducció d'energia no és suficient i requereix una important experiència del programador o de l'operador en els aspectes tecnològics del procés, pel que es recorre a una solució consistent a generar "bucles de seguretat". Aquests bucles s'utilitzen tant en xapa prima com de mig espessor (entre 3 i 4.76 mm), amb la finalitat de millorar l'acabat en aquestes zones i fins i tot per a poder aconseguir el perfil real de la peça.

Els bucles s'obtenen modificant la trajectòria prèviament generada (arc), de manera que es substitueix aquesta per un llaç (triangular o circular) que surt i entra en forma tangencial pel que fa al perfil (figura posterior). S'evita d'aquesta forma que la velocitat de desplaçament del bufador es faci nul·la (o disminueixi) en les zones properes als cantons pronunciats del perfil real, traslladant els canvis de velocitat i direcció a zones allunyades del perfil.

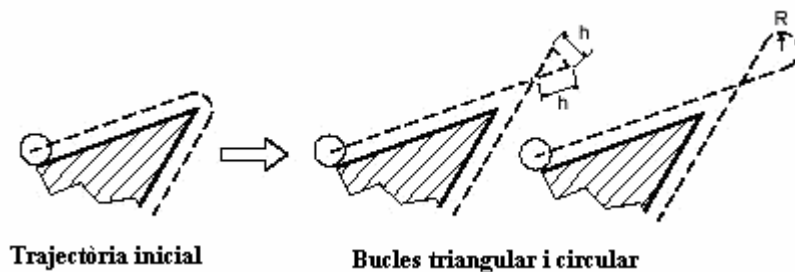


Fig 3.76 Generació de bucles en cantons

Respecte a les zones on es produeix la E/S del tall, la forma en que aquesta es realitzi, determinarà l'acabat. Així per exemple, l'entrada perpendicular i sortida perpendicular al perfil, solen originar un "bec" o osca indesitjable sobre la peça i, depenent del procés, aquesta osca pot arribar a tenir una grandària inacceptable. Quan es programa una E/S amb un cert angle, es disminueix l'osca, i es pot arribar a eliminar per complet si s'adopta una E/S tangencial al perfil o es provoca un solapament (petita zona per la qual es passa dues vegades). Sempre que el perfil disposi d'un cantó format per trams rectes es pot iniciar el tall en aquest cantó de manera que no existeixi cap osca en la resta del perfil. Tots aquests aspectes es poden observar en la figura següent.

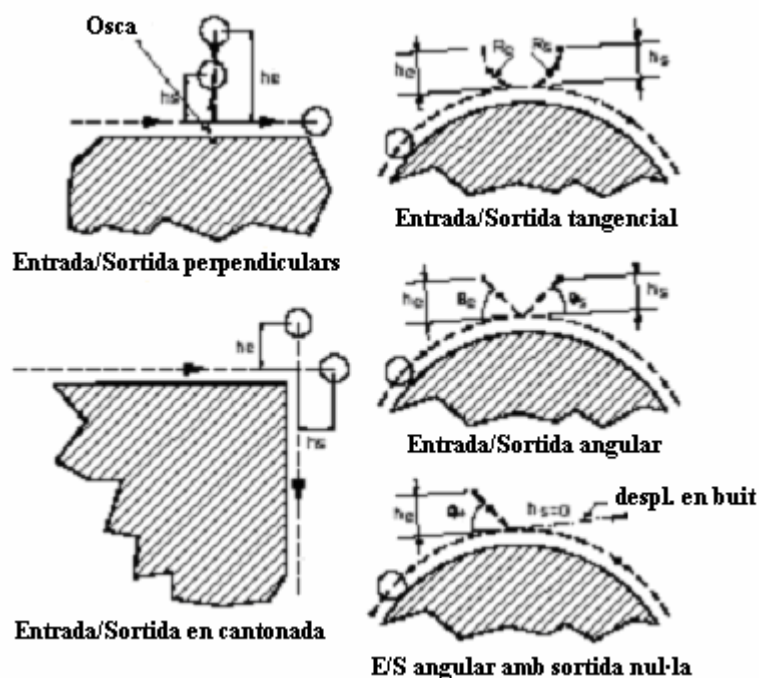


Fig 3.77 Programació de diferents tipus d'entrades i sortides sobre un perfil

Per tant, a l'hora de programar la trajectòria, s'ha de contemplar la possibilitat de realitzar distints tipus d'entrades i sortides al perfil. Els tipus preferits pels usuaris són les entrades i sortides tangencials (bon acabat) i les entrades i sortides angulars (aquesta última permet l'entrada quan el control no disposi d'entrada al tall per mitjà d'un tram corb amb compensació). És important també poder programar distàncies de sortida nul·les (figura anterior), per a evitar el refluxe dels gasos (que danya la part inferior de la xapa) al arribar el bufador a una zona que no té material (quan es conclogui el tall tancant el perfil). Aquesta opció de distància de sortida nul·la és utilitzada en grans espessors. També ha de contemplar-se la possibilitat de generar un solapament de l'entrada i la sortida que assegura a més el despreniment total de la peça.

La generació de les trajectòries de tall ha de possibilitar la creació de "ponts" entre peces amb la finalitat que els perfils així tallats no es despreguin prematurament de la xapa base i fins i tot que romanguin units una vegada tallada tota la xapa. Una solució d'aquest tipus sol ser molt recomanable en el tall per làser de petits espessors, evitant que l'eina pugui col·lisionar amb alguna peça despresada que hagi quedat sobre la xapa, sobretot quan no es disposa de sensors d'interferències (control de la distància filtre-xapa).

En la figura següent poden observar-se els dos tipus de ponts més utilitzats: ponts exteriors, generats entre peces per a mantenir-les unides entre si; i ponts interiors, deixant petites zones del contorn sense tallar. Els ponts interiors disminueixen a més la pèrdua de rigidesa que produeixen els successius talls quan la xapa és molt prima ( $< 2 \text{ mm}$ ).



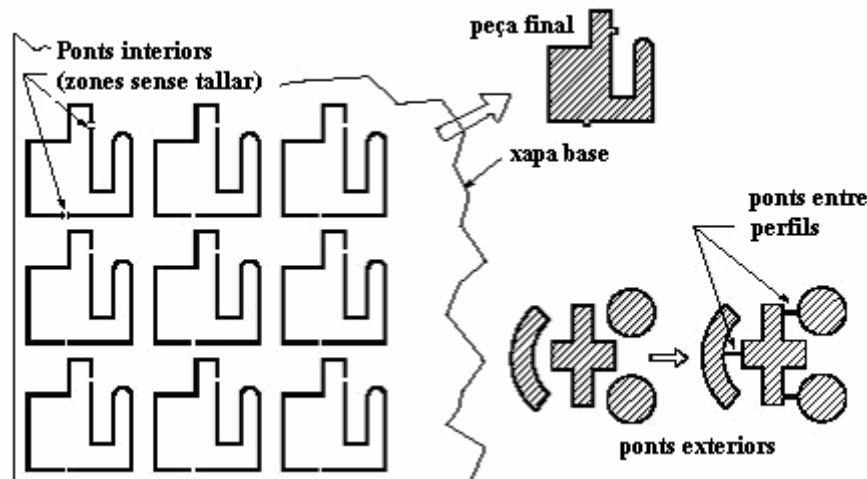


Fig 3.78 Programació de ponts exteriors i interiors

Un últim aspecte que ha de tenir-se en compte, causat per la fragilitat de la xapa que s'accentua a mesura que transcorre el tall, pertoca també a xapes de mig espessor (fins a 5 o 6 mm). Les trajectòries han de tenir el sentit de recorregut de la peça de tal forma que la part on queda la vora inservible de la xapa, zona més feble, es talli en últim lloc. Aquest efecte (figura posterior), pot provocar deformacions en les peces finals. S'ha considerat dintre de l'apartat següent ja que també es produeix en xapes de mig espessor i a més es prefereix l'agrupament de les figures en funció de la problemàtica. En aquest cas la solució vindrà donada per la possibilitat del canvi del sentit de recorregut.

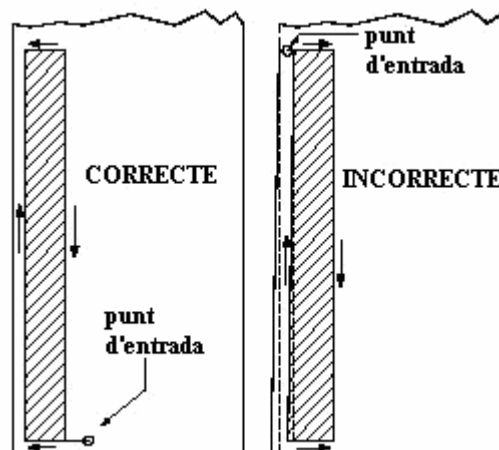


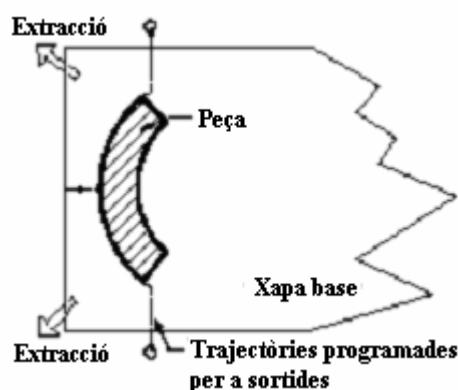
Fig 3.79 Correcta elecció del punt d'entrada i del sentit de recorregut per a evitar distorsions en la xapa

### Problemàtica en mitjans i grans espessors

Quan es treballa amb xapa en mitjans i grans espessors ( $> 4.76$  mm), el cost del material s'incrementa substancialment. Això obliga a ser encara més curós a causa del risc que suposa qualsevol desapropiament de material. Com es desprèn dels aspectes tecnològics vists fins al moment, només el oxicall i el plasma (encara que també recentment el tall per aigua) permeten el tall de grans espessors. Els problemes de pèrdua de rigidesa o

moviment de les peces sobre la xapa base ja no tenen sentit en aquest cas, però segueixen sent vàlides les necessitats de programació de diferents tipus d'E/S al tallat de les peces, sobretot per a eliminar la sortida (apagant el bufador just al acabar el perfil) impedint danys per refluxe de gasos.

També ha de contemplar-se la possibilitat de realitzar sortides programades fora del perfil que vagin fins a la vora exterior de la xapa. Aquesta trajectòria té la finalitat de facilitar (fins i tot permetre en alguns casos) l'extracció de la peça una vegada tallada. En aquest cas, el problema es presenta quan es talla xapa molt gruixuda (espessors de l'ordre de 200 mm o més), ja que el perfil transversal de tall en aquest rang d'espessors resulta ser cònic i en conseqüència impedeix la posterior extracció de la peça. En la figura següent poden observar-se com haurien de programar-se 3 sortides diferents per a facilitar l'extracció de la peça.



*Fig 3.80 Trajectòries de tall per a extreure la peça*

Un altre aspecte que es presenta durant el tall per oxicall de xapes de grans espessors, en aquest cas per sobre dels 60 mm, és la necessitat d'elevada pressió del gas en el bufador (> 6 bar). Aquesta alta pressió, necessària per al tall, produeix una elevada quantitat d'espurnes amb desprendiments fosos del material en la zona on el raig incideix sobre la xapa que queda per tallar. Si aquest raig d'espurnes es dirigeix contra l'operari, impedirà la seva visibilitat i no podrà realitzar una inspecció "in situ", el que de vegades resulta molt necessari (per exemple, quan es realitza un control manual de la velocitat d'avanç en les entrades o en perfils complicats).

Raons addicionals per a controlar el sentit de recorregut resideixen que la part sobrant ha de quedar, durant el major recorregut possible, del costat on hi ha més material. Si calgués es canviaria el punt d'entrada, en concordança amb aquest sentit (figura posterior). Això, juntament amb l'elecció del sentit d'acord amb la qualitat del tall, de manera que la superfície de tall més perpendicular quedi del costat on està la peça, evitarà innecessàries distorsions degudes a l'escalfament, mancances de rigidesa (en xapa de mig espessor, de 3 a 5 mm), etc., que produirien unes dimensions inadequades. Per tant, el programa de generació de trajectòries de tall haurà de permetre el canvi del sentit de recorregut del perfil de la peça quan sigui necessari.

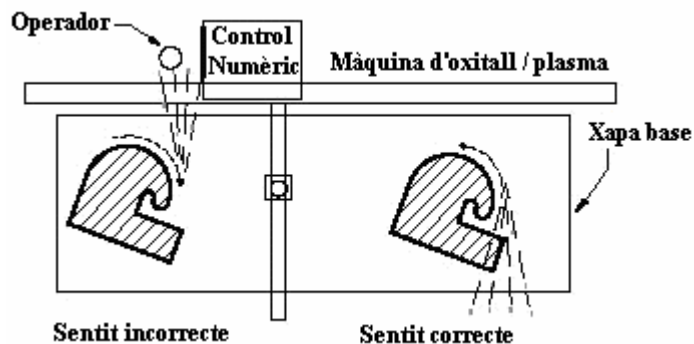


Fig 3.81 Canvi del sentit de recorregut per a permetre la inspecció del treball

També en grans espessors, és necessari efectuar no només un preescalfament de la xapa base sinó també unes perforacions prèvies amb el bufador en els punts previstos d'entrada de tall (trajectòries intermèdies entre desplaçaments en buit i en tall), permetent la posterior entrada al perfil del raig de tall en condicions òptimes. La generació de les trajectòries de tall haurà de contemplar per tant, la possibilitat no només de programar aquestes perforacions prèvies (zones d'entrada), sinó la d'evitar les zones pròximes a aquestes perforacions, que són zones molt difícils de tallar per haver-se endurit per tremp (figures següents).

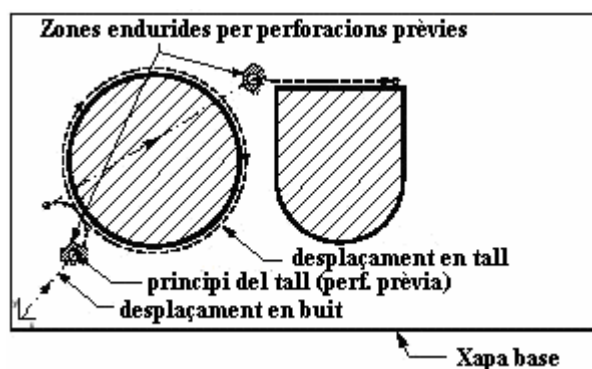
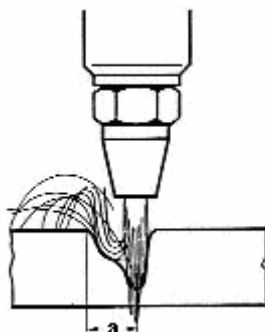


Fig 3.82 Programació de trajectòries amb inici del tall sobre perforacions prèvies



La distància “a” es produeix en el sentit de la trajectòria i està en concordància amb l'espessor.

Fig 3.83 Detall de la zona d'entrada al tall en mitjans i grans espessors.

La necessitat d'aprofitament de material es fa més patent en espessors mitjos i grans. Podem trobar un bon exemple d'això en la possibilitat de generar peces adossades o amb un costat comú. Per això, bé sobre un mateix programa de CN o bé sobre totes les peces que formen part d'una xapa base, es generen algunes trajectòries amb una compensació d'eina determinada (per exemple, esquerra) i altres trajectòries amb altra compensació (per exemple, dreta o amb compensació nul·la).

Aquesta particularitat de canvi de compensació d'eina dintre del mateix programa CN, no sol aparèixer en els programes CAD/CAM de tipus comercial empleats en el tall de xapa. En canvi, la seva inclusió permetria per exemple, tallar peces adossades (amb un costat comú), amb el consegüent estalvi de material, temps i cost associat al tall.

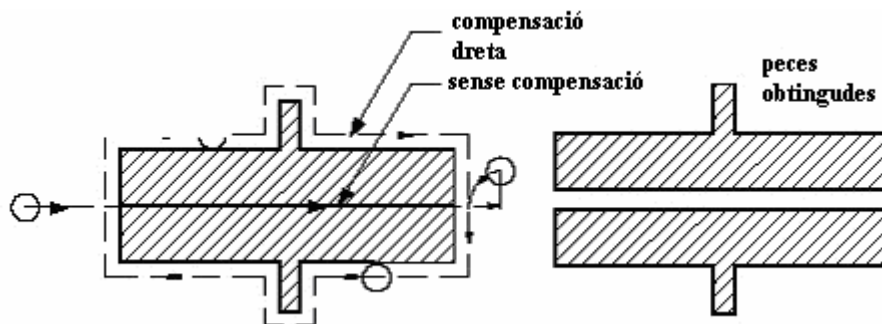


Fig 3.84 Trajectòries per al tall de peces adossades

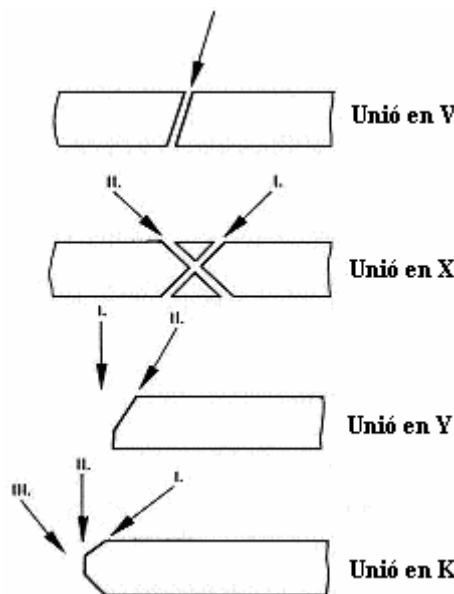
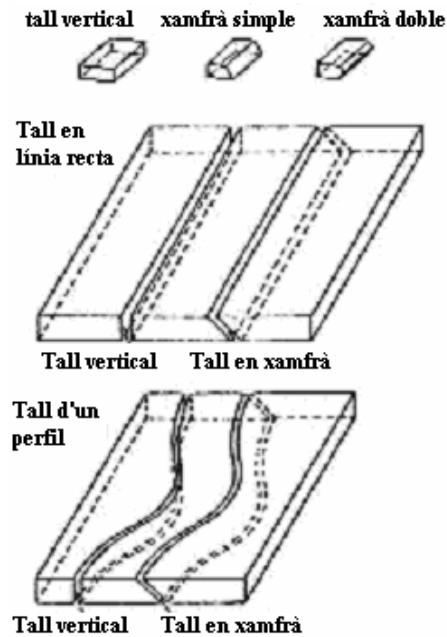


Fig 3.85 Preparació de xamfrans o juntes per a soldadura

Quan es procedeix a preparar la xapa per al muntatge i posterior soldadura, es disposen capçals de tall amb bufadors girats, podent també muntar-se dispositius amb bufadors dobles o triples. La programació de l'ordre d'encès (I, II i III en la figura anterior) i la zona on comença i acaba el xamfrà, ja sigui xamfrà simple (unió en V), doble (unió en X o en Y), o triple (unió en K), ha de tenir-se en compte a l'hora de la generació de trajectòries, de manera que el postprocessat pugui reconèixer les línies sobre les quals ha d'aplicar el/els xamfrans. Això permet deixar la peça preparada per a qualsevol tipus de soldadura, tant en perfils corbs com rectes (figura posterior).

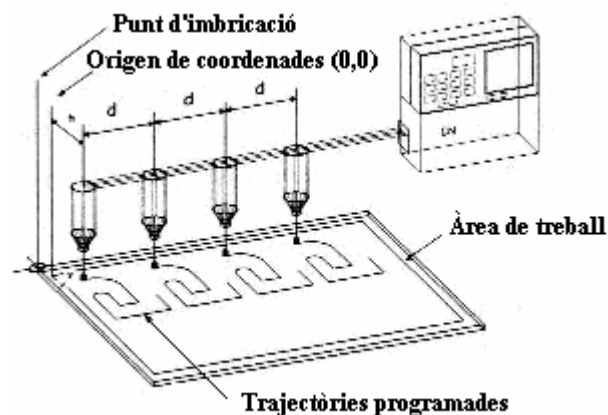


*Fig 3.86 Perfils resultant preparats per a soldadura*

### Problemàtica en la programació. Controls numèrics i postprocessadors

A part dels problemes ja esmentats, existeix altra problemàtica associada a la xapa que és pràcticament independent de l'espessor. Aquests problemes són deguts al propi procés i afecten a la forma de programació, al posicionament de la xapa, a les particularitats del CN i del postprocessador, etc.

Referent a això cap citar que les vores de la xapa no solen formar part de les peces, a causa de la seva oxidació i al mal acabat que presenten. En alguns casos com en el oïtall, aquesta exigència s'accentua encara més a causa del reflux de gasos, sobre la part inferior de la xapa, al entrar a tallar el material. En xapa de poc espessor, es pot entrar a tallar el material des de l'exterior, però la zona adjacent, d'uns 5 o 10 mm de "marge", no pot pertànyer a la peça. Es prefereix fins i tot entrar a tallar des de l'interior de la xapa, donant per perduda aquesta petita zona de marge.



*Fig 3.87 Punts significatius per a la programació CN*

El posicionament de la xapa base pel que fa a la taula (punt d'imbricació), l'origen de coordenades (0,0) i del programa (situació inicial del bufador) han de ser controlats perfectament pel sistema. L'operari ha de tenir coneixement de tots aquests aspectes i si és possible, treballar conjuntament amb el programador a l'hora de prefixar-los.

En aquest mateix sentit, les funcions inicials del programa que s'encarreguin d'aquestes tasques, han de possibilitar una total mobilitat de la xapa, per mitjà del punt d'imbricació (vèrtex inferior-esquerre de la xapa), al com es referirà l'origen de coordenades (0,0 del programa CAD/CAM) i l'origen de programa (0,0 del CN).

La finalitat de la modificació a voluntat de la distància de l'origen de coordenades al vèrtex de la xapa, estriba no només a conèixer exactament on ha de posicionar-se el bufador al reiniciar de nou el tall després d'una parada forçosa (encenalls o elements estranys en les guies, etc.) que en cas contrari ocasionaria l'estripat de la xapa, sinó també perquè usualment aquest punt origen de coordenades serveix per a la presa de referència en el cas de l'ocupació de bufadors solidaris, amidant-se sobre ell les distàncies a les quals es posicionaran els altres injectors (figura anterior). El programa desenvolupat calcula automàticament el punt que servirà com origen de coordenades (situant en la intersecció de les tangents horitzontal i vertical a les peces més exteriors) i posiciona el punt d'imbricació de la xapa a la distància de seguretat. D'aquesta forma, cap perfil s'aproxima més del permès a la vora de la xapa.

Abans del procés de generació de trajectòries, l'usuari ha de disposar de funcions específiques per al correcte posicionat (manual o automàtic) dels perfils de la/es peça/es sobre la xapa base, que juntament amb la possibilitat de situar i/o modificar el punt d'imbricació de la xapa sobre el dibuix, ens duren a la correcta selecció de l'origen de programa i altres punts significatius.

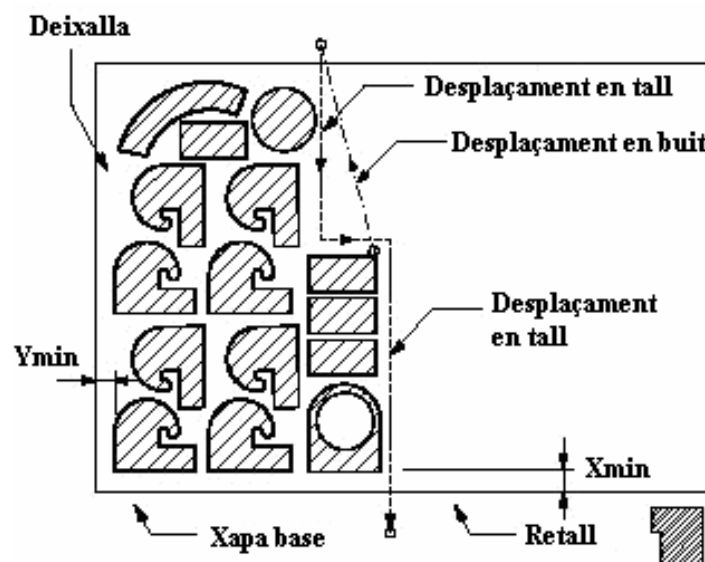


Fig 3.88 Distàncies de seguretat a la vora de la xapa i trajectòries de sortida per a obtenir un retall

També resulta interessant contar amb la possibilitat de realitzar trajectòries de tall que no exigeixin cap geometria prèvia dibuixada. Aquesta opció té múltiples aplicacions, la més usual consisteix a poder incloure, en el mateix programa CN, una última trajectòria de tall destinada a generar una determinada retallada sobrant de la xapa base (figura anterior) amb una forma generalment rectangular, que faciliti el seu posterior emmagatzematge i reaprofitament.

### 3.3.1.3 Comparació entre els diferents sistemes de tall

A continuació es realitza una comparació entre els cinc sistemes de tall que s'han estudiat anteriorment. Està presentada en forma de taula on s'exposen diferents aspectes que contribuiran posteriorment a l'elecció del sistema a utilitzar en la nostra fabricació.

#### 3.3.1.3.1 Diferències fonamentals entre els processos

	Tall mecànic	Làser de CO <sub>2</sub>	Oxital	Plasma	Tall per aigua
Mètode d'impartir l'energia	Punxó i matriu	Llum 10,6 µm	Oxigen i acetilè produint una flama controlada	Transmissor de gas	Aigua
Font d'energia	Motor AC	Gas làser	Oxi-Acetilè	Corrent continua	Bomba d'alta pressió
Com es transmet l'energia	Engranatges	Raig guiat per miralls o per fibra òptica (no al de CO <sub>2</sub> )	Flama de gas a través d'una torxa	Gas carregat elèctricament	Mànec rígid d'alta pressió
Com s'expulsa el material de tall	Punxó a través de la matriu	Raig de gas	Raig de gas	Raig de gas	Raig d'aigua a alta pressió
Distància entre l'embocadura i el material, i màxima tolerància permesa	De 0,020" a 0,300" depenen del gruix del material	Aproximadament 0,2" ± 0,004"	0,02" ± 0,01"	De 0,010" a 0,02"	Aproximadament 0,12" ± 0,04"
Preparació física de la màquina	S'ha de muntar el punxó i la matriu requerits	Font del làser localitzada sempre dintre de la màquina	Àrea de treball, gasos i torxa de tall	Àrea de treball, aire i torxa de plasma	El àrea de treball i la bomba poden estar separats
Rang de mesures de la taula	No aplicable en aquest procés	De 8' x 4' a 20' x 6,5'	De 8' x 4' a 20' x 6,5'	De 8' x 4' a 20' x 6,5'	De 8' x 4' a 13' x 6,5'
Raig de sortida a la peça de treball	No aplicable en aquest procés	De 1500 a 2600 Watts	No aplicable en aquest procés	No aplicable en aquest procés	De 4 a 17 kilowatts (4000 bar)

Taula 3.14 Diferències fonamentals entre els processos de tall



### 3.3.1.3.2 Aplicacions i usos típics del processos

	Tall mecànic	Làser de CO <sub>2</sub>	Oxital	Plasma	Tall per aigua
Usos típics del procés	Punxonat	Tallar, perforar, gravar, estructurar, soldar	Tallar	Tallar	Tallar, estructurar
Tall en 3D	No aplicable en aquest procés	Difícil degut a sistemes rígids de guies i la regulació de la distància	No aplicable en aquest procés	No aplicable en aquest procés	En part possible si l'energia residual darrere de la peça es destruïda
Materials que es poden tallar	Tots els metalls depenen de la maquinària	Tots els metalls (excloent els altament reflectius), tots els plàstics, vidres i fustes	Acer al carboni i la majoria de les aliatges metàl·lics	Tots els metalls poden ser tallats	Es poden tallar tots els metalls per aquest procés
Combinació de materials	No recomanat	Materials amb diferents punts de fusió molt costosos de tallar	Possible en materials amb diferent punt de fusió	Possible en materials amb diferent punt de fusió	Possible, però hi ha perill de delaminació
Estructures sandvitx amb cavitats	No és possible amb aquest procés	No és possible amb un làser de CO <sub>2</sub>	No és possible amb aquest procés	No és possible amb aquest procés	Habilitat limitada
Tall de materials amb accés difícil o limitat	No és possible	Rarament possible degut a la petita distància i el gran capçal de tall del làser	Rarament possible degut a la petita distància i el gran cap de la torxa	Rarament possible degut a la petita distància i el gran cap de la torxa	Limitat degut a la petita distància entre l'injector i el material
Propietats del material de tall que influeixen al procés	La duresa del material és un factor clau	Característiques d'absorció a 10,6 µm	La duresa del material és un factor clau	La duresa del material és un factor clau	La duresa del material és un factor clau
Grossor del material al que el procés resulta econòmic	De 0,010" a 0,187"	~0,12" a 0,4" depenen del material	~0,12" a 0,4"	~0,12" a 0,4"	~0,4" a 2"
Aplicacions comuns del procés	Punxonat de planxes de poc gruix i aplicacions d'embotit	Planxes d'acer de gruix mitjà pel processat de planxes metàl·liques	Tallat de planxes i plaques de major grossor	Tallat de planxes i plaques de major grossor	Tallat de ferro, ceràmiques i metalls de gran espessor

Taula 3.15 Aplicacions i usos típics dels processos de tall

### 3.3.1.3.3 Inversió inicial i costos mitjans d'operació

	Tall mecànic	Làser de CO <sub>2</sub>	Oxital	Plasma	Tall per aigua
Capital inicial d'inversió requerit	De 50.000 a 300.000 €	300.000 € amb bomba de 20 kW, i una taula de 6,5' x 4'	De 200.000 a 500.000 €	+120.000 €	+300.000 €
Parts que pateixen desgast	Desgast del punxó i de la matriu més la necessitat d'afilats regulars	Vidre de protecció, injectors de gas, i filtre de partícules	Puntes de la torxa de tall	Injectors de tall i elèctrodes	Injector del raig d'aigua, i tots els components a alta pressió com vàlvules i mànegues
Consum energètic mitjà del sistema de tall complet	Motor 10 hp  Potència elèctrica: 9 kW	Assumint un làser de 1500 Watts de CO <sub>2</sub> :  Potència elèctrica: 24-40 kW  Gas làser (CO <sub>2</sub> , N <sub>2</sub> , He): 2-16 l/h  Gas de tall (O <sub>2</sub> , N <sub>2</sub> ): 500-2000 l/h	Oxigen 30 psi a 60 CF/M  Acetilè 4 psi a 7 CF/M	Plasma 300 amp  Potència elèctrica: 55 kW	Assumint una bomba de 20 kW:  Potència elèctrica: 22-35 kW  Aigua: 10 l/h  Abrasiu: 36 kg/h  Disposició de les deixalles de tall

Taula 3.16 Inversió inicial i costos mitjans d'operació

### 3.3.1.3.4 Precisió del procés

	Tall mecànic	Làser de CO <sub>2</sub>	Oxital	Plasma	Tall per aigua
Grandària mínima de l'esquerda de tall	0,002"	0,006", depenen de la velocitat de tall	0,02"	0,002"	0,02"
Aparença de la superfície tallada	La superfície de tall mostra la vora esquilada	La superfície de tall mostra una estructura estriada	La superfície de tall mostra una estructura estriada	La superfície de tall mostra una estructura estriada	La superfície de tall sembla que hagi estat polida amb raig de sorra, depenen de la velocitat de tall
Tall de les vores totalment paral·leles	Bo	Bo; ocasionalment manifesta vores còniques	Presenta vores de tall no paral·leles amb alguna freqüència	Presenta vores de tall no paral·leles amb alguna freqüència	Bo; hi ha un efecte de lligat en corbes en el cas dels materials més densos
Tolerància del processat	Aproximadament 0,002"	Aproximadament 0,002"	Aproximadament 0,03"	Aproximadament 0,02"	Aproximadament 0,008"
Necessitat de remoure rebaves del tall	Només es formen rebaves parcials	Només es formen rebaves parcials	Només es formen rebaves parcials	Només es formen rebaves parcials	No es formen rebaves
Efecte tèrmic sobre el material	Deformació en els materials més primers	Poden ocórrer canvis en la deformació, trempat i estructura del material	Poden ocórrer canvis en la deformació, trempat i estructura del material	Poden ocórrer canvis en la deformació, trempat i estructura del material	No hi ha cap efecte tèrmic
Forces que actuen sobre el material en la direcció del flux de tall	No aplicable en aquest procés	La pressió del gas té problemes amb peces de treball molt primes, la distància no pot ser mantinguda	La pressió del gas té problemes amb peces de treball molt primes, la distància no pot ser mantinguda	La pressió del gas té problemes amb peces de treball molt primes, la distància no pot ser mantinguda	Altes: les parts petites o primes tenen limitacions en el processat

Taula 3.17 Precisió dels processos de tall

### 3.3.1.3.5 Consideracions de seguretat i espai operacional

	Tall mecànic	Làser de CO <sub>2</sub>	Oxital	Plasma	Tall per aigua
Requeriments de seguretats personal als equips	Ulleres i protecció auditiva a prop de les premses	Les ulleres de protecció pel làser no són absolutament necessàries	Ulleres de protecció	Ulleres de protecció	Ulleres de seguretat, protecció auditiva, i protecció contra el contacte amb el raig d'aigua a alta pressió
Producció de fum i pols durant el procés	Es produeix degut al continu moviment en l'estampació	Sí es produeix; els plàstics i alguns aliatges metàl·lics poden produir gasos tòxics	Sí es produeix; els plàstics i alguns aliatges metàl·lics poden produir gasos tòxics	Sí es produeix; els plàstics i alguns aliatges metàl·lics poden produir gasos tòxics	No és aplicable
Contaminació sonora	Molt alta	Molt baixa	Baixa	Mitjana	Inusualment alta
Requeriments de neteja de màquines degut al procés	Poca neteja necessària	Poca neteja necessària	Neteja mitjana	Neteja mitjana	Molta neteja necessària
Desaprofitament pel tall produït pel procés	Es desaprofita gran quantitat de material	Està principalment en la forma d'extracció i filtració que requereix el pols	Està principalment en la forma d'extracció i filtració que requereix el pols	Està principalment en la forma d'extracció i filtració que requereix el pols	Es desaprofiten gran quantitats degut a la mescla d'aigua amb abrasius

Taula 3.18 Consideracions de seguretat i espai operacional

## 3.3.2 Procés d'embotit

### 3.3.2.1 Fonaments teòrics del procés

Per començar examinarem l'operació en el tipus més senzill d'embotit: el d'una peça cilíndrica de revolució, efectuada sense trepitjador. Aquesta operació consisteix en introduir el disc amb l'ajuda d'un punxó de les dimensions interiors de la peça a obtenir, en un forat circular anomenat matriu, de les dimensions exteriors de la peça. El conjunt es pot veure a la figura següent:

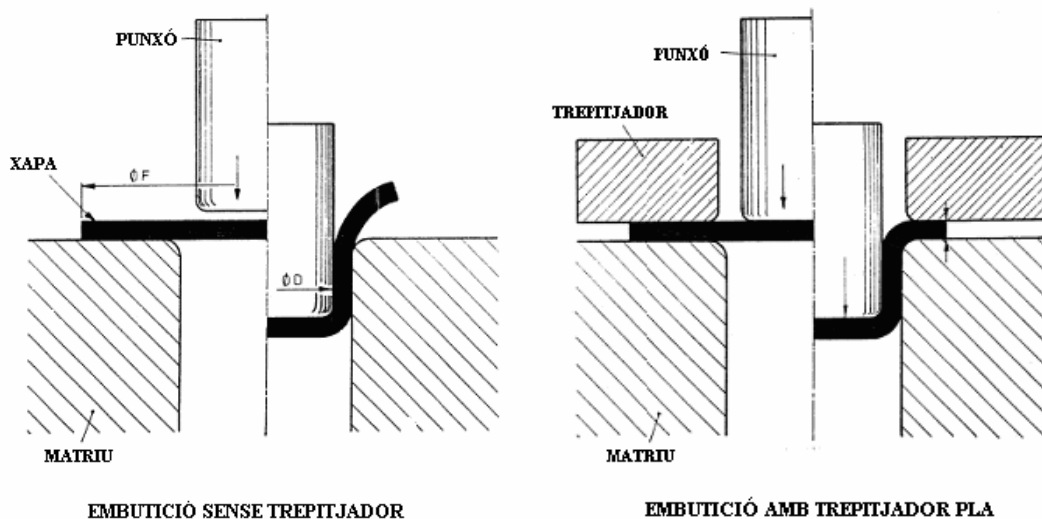


Fig 3.89 Diferents tipus d'embotició

Al disc de la figura de baix, hi ha dibuixada una circumferència concèntrica de diàmetre  $d$ , la qual formarà el fons de la peça embotida i, per tant, no patirà deformació. Per formar les parets laterals es pot pensar en traçar sobre la superfície anular d'aquest disc, una sèrie de petits rectangles, com el  $a$ ,  $b$ ,  $c$ ,  $d$ , els quals, plegats per la base, estaran en condicions de tancar lateralment la peça. Veiem així que queden petits triangles com el  $cde$  de metall sobrant, aquesta excedent de metall és el que caracteritza la dificultat en l'embotit.

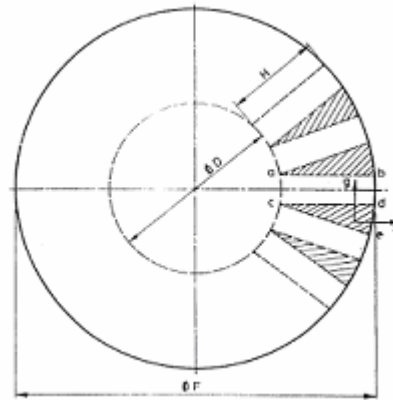


Fig 3.90 Repartició del metall en l'embotició cilíndrica

Teòricament res impedeix al material desplaçar-se en el pla horitzontal, el desplaçament del metall en la direcció  $Y$  és el més interessant d'estudiar, ja que aquest desplaçament estarà reprimat per la presència del metall i aquesta repressió de major a menor importància serà una de les característiques intrínseques del metall que més pesará en l'embotit.

D'una manera més general les accions que es produeixen en una xapa durant una embotit profunda estan indicades a la següent figura:

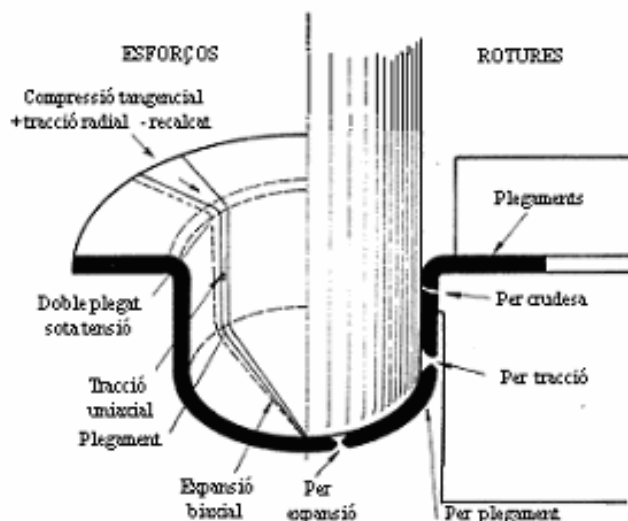


Fig 3.91 Embotició cilíndrica, anàlisi d'esforços

En aquest esquema s'observa a partir del centre del punxó, si aquest té forma perfilada, una expansió biaxial; a continuació, en la zona arrodonida del punxó s'observa un plegament; en les parets laterals embotides durant el decurs del conformat s'adverteix una tracció uniaxial; en la zona arrodonida del cantell de la matriu observem un doble plegament sota tensió; en la superfície anular del disc sota el trepitjador observem accions biaxials de compressió tangencial i de tracció radial. A la consideració d'aquestes accions és necessari afegir el fenomen d'enduriment del metall per acritud durant el seu treball en fred, el que produeix essencialment l'efecte d'augmentar notablement la càrrega de ruptura i del límit elàstic del metall, al mateix temps que produeix la disminució de l'allargament, proporcionalment als coeficients de deformació.

Examinant les accions produïdes, es dedueixen les possibilitats de ruptura o de defectes en una peça embotida, les quals estan representades a la part dreta de la figura anterior. Si la ruptura es deguda als esforços d'expansió biaxial, s'aprecia una astringència circular, produint-se sovint la ruptura abans que les parets laterals estiguin formades. La ruptura més freqüent s'observa per l'astringència del metall a la paret lateral embotida per sobre de la curvatura del punxó. En aquesta zona, on s'originen esforços de tracció uniaxial, el metall es va endurint cada cop més per acritud, a partir de la zona arrodonida del punxó, per una càrrega donada, l'astringència i la ruptura es produeixen per sobre de la curvatura del punxó. Aquesta ruptura està ocasionada per una acció massa gran de tracció, deguda ja sigui a un trepitjador massa apretat, ja sigui un disc massa gran (el qual precisa per a la seva embotit un esforç exagerat), o bé degut a un frenat anormal de l'estirat del metall (estat rugós de la superfície dels utillatges, lubricació dolenta, plegaments per sota del trepitjador...). La ruptura denominada "per acritud", es produeix en general per sota del radi de curvatura de la matriu. És deguda essencialment a que en un disc massa gran l'acritud que a pres la superfície anular del mateix, per efecte de les compressions tangencials exercides sobre ell, l'impedeixen suportar el doble plegat sota la tensió imposada pel radi de curvatura de la matriu. La ruptura es produeix sobretot als metalls amb velocitat d'enduriment per acritud elevada. Una altra ruptura en la mateixa zona també pot produir-se, encara que present llavors un fenomen d'astringència que es deu a un radi de curvatura de la matriu (radi de l'embotit) excessivament petit. Quan el metall no admet la comprensió tangencial que se li exigeix en la par anular del disc, hi ha desenvolupaments de plegaments sota del trepitjador els que, no poden passar pel radi de curvatura de la matriu, frenen exageradament el relliscat del metall, produint, per tant, una ruptura en la zona més fràgil de l'embotit.

Resumint, les característiques intrínseques del metall, que tenen un paper important durant l'operació d'embotit, són essencialment les següents: la càrrega de ruptura, que serà més interessant quant majors siguin les accions en les parets laterals; l'allargament, que ha de ser elevat, ja que si el metall llisca fàcilment, tindrà menys risc d'astringència; la resistència a la compressió tangencial sota el trepitjador, més comunament denominada possibilitat de recalcat, mesurat per la relació o per el coeficient d'embotit i el límit elàstic. El metall és més fàcil d'embotir contra més plàstic o mal-leable sigui, contra major sigui la diferència entre la seva càrrega de ruptura i el seu límit elàstic, o contra major sigui el quocient relatiu o absolut d'aquestes quantitats.



### **3.3.2.2 Eines necessàries per al procés**

#### **3.3.2.2.1 Premses d'embotit**

En embotit s'utilitzen premses ja siguin mecàniques o hidràuliques, i poden ser d'acció simple, doble o triple. Les premses de doble acció són requerides per a la majoria dels processos d'embotit profund perquè es pot mantenir la força de el trepitjador més uniforme al llarg de tota la carrera, amb l'ajut d'un ressort que actua sobre el trepitjador.

Les premses d'embotit posseeixen nombrosos additaments, i amb l'adopció d'altres accessoris, les màquines modernes poden operar a velocitats molt elevades que faciliten una producció ràpida i fluida.

Els requeriments del tonatge, espai de la matriu i la longitud de la carrera són les més importants consideracions en la selecció d'una premsa per a embotiment profund, així com la condició del cigonyal i els seus coixinets.

#### **3.3.2.2.2 Matrius**

Les matrius utilitzades per l'embotit són usualment dels següents tipus bàsics:

- a) Matrius d'acció simple
- b) Matrius d'acció doble
- c) Matrius compostes
- d) Matrius progressives
- e) Matrius múltiples amb mecanismes de transferència

La selecció del tipus de matriu depèn primordialment de la grandària de la peça, la severitat de l'embotit i la quantitat de peces a ser produïdes.

#### **3.3.2.2.3 Trepitjador**

El propòsit d'un trepitjador és prevenir la formació de replegaments en el marge durant el procés d'embotit. Un trepitjador deu permetre el treball lliure del metall que consisteix en un augment continu de l'espessor, quan el metall es desplaça cap a l'interior. El major augment de l'espessor acostuma a presentar-se al marge extern de la copa, que és la zona on només s'han produït tensions tangencials de compressió.

L'augment de l'espessor està expressat per:

$$\frac{t_1}{t} = \frac{\sqrt{D}}{D_1}$$

On:

$t_1$  = espessor del marge instantani

$t$  = espessor del disc

$D_1$  = diàmetre del marge instantani

$D$  = diàmetre del disc

### 3.3.2.3 Factors involucrats al procés

Els principals factors del procés són:

- a) Relació d'embotit
- b) Velocitat d'embotit
- c) Pressió de el trepitjador
- d) Esforç d'embotit
- e) Lubricació
- f) Recuit

#### 3.3.2.3.1 Relació d'embotit

La relació d'embotit es defineix com la relació entre el diàmetre del disc i el diàmetre del punxó ( $D/d$ ). S'ha establert que per a varies condicions d'embotit donades, la càrrega del punxó s'incrementa d'una manera aproximadament lineal en relació al diàmetre inicial del disc i comença a decreixer quan arriba a un punt anomenat relació màxima d'embotit. La relació entre l'altura de la copa i el diàmetre de la copa, a vegades s'usa com una expressió de la *relació d'embotit*. Aquesta relació varia amb la embotibilitat del metall i la quantitat d'engrossiment o aprimament de la paret de la copa. L'embotibilitat d'un metall també és expressada com un percentatge de reducció del diàmetre del disc al diàmetre de la copa, expressada per:

$$\% \text{ de reducció} = 100 [1-(d/D)]$$

A la figura següent es mostra gràficament el percentatge de reducció d'embotit a partir del diàmetre del disc inicial i el diàmetre de la copa, o del diàmetre interior d'una copa a la següent. Aquest percentatge de reducció està calculat a partir de la fórmula anterior.

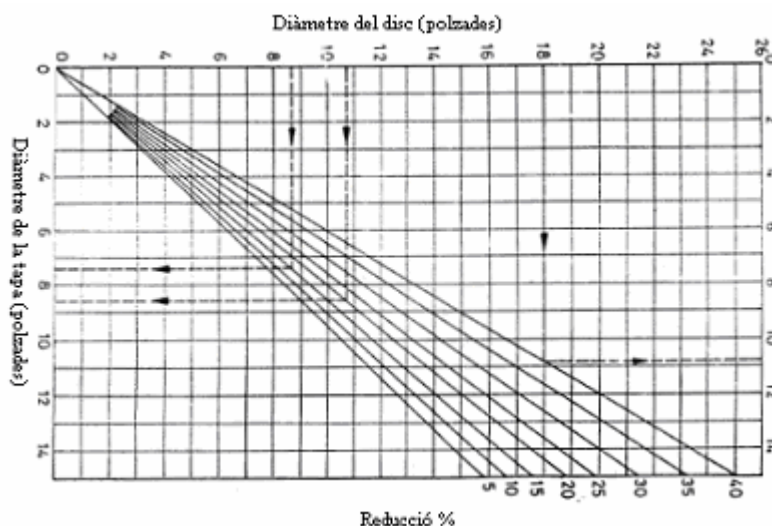


Fig 3.92 Diagrama per a la comprovació del percentatge de reducció en l'embotit de tapes

### 3.3.2.3.2 Velocitat d'embotit

La velocitat d'embotit és la que posseeix el punxó en el moment que fa contacte amb el disc i comença la deformació del mateix. Experimentalment s'ha demostrat amb diferents velocitats del punxó que aquesta no té una influència important en l'embotit de peces cilíndriques. No obstant, existeix una velocitat d'embotit òptima per a cada metall, per permetre-li a aquest el temps necessari per a passar a l'estat plàstic sense que es presentin deformacions que afectin al procés.

Per a l'embotit de peces cilíndriques, aquestes velocitats són les següents:

Acer inoxidable	200 mm/s
Acer dolç	280 mm/s
Alumini	500 mm/s
Llautó	750 mm/s

Per a l'embotit de peces no cilíndriques, són preferibles velocitats petites ja que d'aquesta manera es redueix el risc d'aprimament de la paret.

Com una guia per a les velocitats d'embotit màximes recomanables tenim la taula següent:

MATERIAL	VELOCITAT EN m/s	
	PREMSES SIMPLE ACCIÓ	PREMSES DOBLE ACCIÓ
ALUMINI	0,89	0,51
ALEAC. ALUMINI	-----	0,15 – 0,22
LLAUTÓ	1,00	0,50
COURE	1,76	0,43
ACER	0,26	0,18 – 0,25
ACER INOX.	-----	0,10 – 0,15
ZINC	0,76	0,20

Taula 3.19 Velocitats d'embotit màximes recomanades per a diferents materials

### 3.3.2.3.3 Pressió de el trepitjador

Les operacions d'embotit sotmeten al material del marge de la xapa primitiva a tensions circumferencials que produeixen pandeig en aquesta part de la planxa, i posteriorment produiran replegaments a la peça final. Per això es requereix alguna fixació per a controlar el flux del metall. Aquesta subjecció addicional usualment s'obté amb l'ús d'un trepitjador. El propòsit de el trepitjador és prevenir la creació d'arrugues a replegaments en qualsevol part del marge de la peça durant l'embotit. Si la pressió de el trepitjador és massa gran la xapa queda frenada en excés, pot produir-se la ruptura de la peça embotida a l'altura del radi d'embotit de la matriu. La conseqüència d'una pressió insuficient de el trepitjador seria la formació de replegaments en la paret de la peça. Si es registra la formació de replegaments només en un costat de la peça, significa que la pressió de el trepitjador no és regular, sent menor a les zones on apareixen els replegaments.

La fixació necessària en l'embotit varia duran la carrera de la premsa durant el progrés del procés. Idealment la pressió de el trepitjador deuria ser menor al principi del procés, incrementant-se d'acord al progrés de l'embotit i després variar-se lleugerament d'acord amb el que varia l'espessor del marge. No obstant aquesta variació de la pressió de el trepitjador no resulta pràctica i s'usen valors promig. La pressió òptima de el trepitjador depèn principalment de la quantitat de reducció i el contorn de la matriu. Encara que assumint un radi generós de la matriu la força exercida varia poc per a un ampli rang de espessors del metall i és aproximadament proporcional a l'àrea de la porció del disc inicialment subjectada per el trepitjador. A continuació es mostra una taula amb pressions aproximades del trepitjador basades en les propietats mecàniques dels metalls:

MATERIAL	PRESSIÓ DE EL TREPITJADOR kg/mm <sup>2</sup>
ALUMINI	0,12
ZINC	0,15
LLAUTÓ	0,2
ACER INOXIDABLE	0,2
ACER	0,25

Taula 3.20 Pressions aproximades del trepitjador

### 3.3.2.3.4 Esforç d'embotit

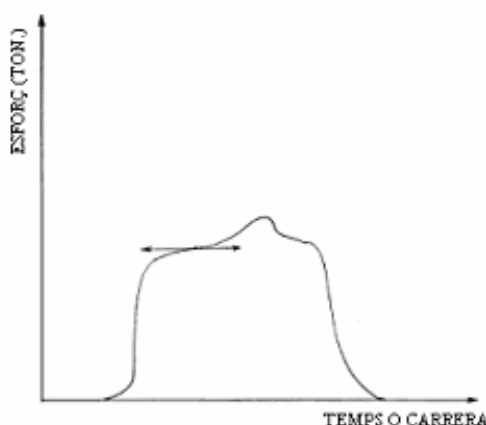


Fig 3.93 Esforç d'embotició

La figura anterior representa un exemple de la corba de l'esforç realitzat pel punxó d'embotit en funció del temps o de la carrera, també de la profunditat embotida en una premsa hidràulica. Es pot veure que l'esforç d'embotit és casi constant durant tota la carrera presentant la corba de l'esforç la forma d'un altiplà. Eventualment, cap al final de l'embotit, aquest altiplà es deforma per un màxim degut a l'esforç suplementari necessari per a l'estirat d'una paret, que ha sigut lleugerament engrasada i que passa entre un utilitatge sense joc.

Totes les fórmules que indiquen el valor de l'esforç d'embotit són de la forma  $P = \pi d e R K$ , on  $P$  és l'esforç del punxó en quilograms,  $d$  és el diàmetre de la peça embotida en mm,  $e$  és l'espessor de la xapa en mm,  $R$  la resistència del metall a la tracció en  $\text{kg/mm}^2$  i  $K$  un coeficient experimental.

Els lubricants per a pressions extremes són capaços de reaccionar químicament amb superfícies sòlides per baixar les condicions de fregament, prevenint la soldadura i proporcionant productes de la reacció de lubricació sobre la superfície. Aquests lubricants permeten altes càrregues unitàries amb un mínim de desgast i dany de la superfície.

Els lubricants típics d'aquesta classe contenen compostos de sulfurs, clorurs i/o fosfurs com a ingredients químics actius.

### 3.3.2.3.5 Recuit

Un procés de recuit té lloc en tres etapes: alleugeriment d'esforços, recristal·lització i creixement del gra. Aquests canvis no succeeixen de forma instantània, de manera que, en particular a baixes temperatures, ha de deixar-se transcórrer el temps suficient per a que es realitzi cada una d'aquestes etapes. Quan la temperatura a la que es porta el metall treballat en fred és suficientment elevada, el procés complet té lloc tan ràpidament que sembla instantani; per a temperatures baixes la influència del temps pot determinar-se amb facilitat. El grau de recuperació i creixement del gra, depenen parcialment del temps i temperatures utilitzades en el procés. La velocitat de creixement dels nous cristalls durant la recristal·lització, depèn també de la quantitat de deformació durant l'operació prèvia del recuit.

Si el material es subministra com a làmina en el estat recuit, deurà treballar-se intensament en fred en l'última operació prèvia al procés final de recuit, per a que d'aquesta manera s'obtingui una grandària de gra satisfactòria.

Per assegurar la formació de la estructura desitjada de gra fi en el material recuit es necessari un control precís d'aquells factors que determinen el creixement d'un gra gran. La formació d'un gra gran es deu a l'ús d'altres temperatures i llargs períodes de tractament, per tant s'han de mantenir al mínim tant la temperatura com el temps de tractament, per tal que s'aconsegueixi la penetració completa de la calor a tota la càrrega del forn.

La velocitat d'escalfament a través de la temperatura de recristal·lització deu ser tan ràpida com sigui possible ja que això condueix a la formació d'un gra fi.

L'escalfament del material a una temperatura massa elevada en una atmosfera rica en oxigen porta a l'oxidació excessiva en la superfície del metall. Un període prolongat de tractament agreujarà la condició. Apart del control del temps i temperatura de tractament al mínim necessari per a la producció de propietats satisfactòries, l'únic procediment alternatiu és el d'usar alguna forma d'atmosfera protectora que condueixi a la producció d'un acabat de superfície brillant o semibrillant.

### 3.3.2.4 Alternatives del procés d'embotit

#### 3.3.2.4.1 Reembotit

És l'operació de reduir una copa o peça embotida, a un diàmetre més petit. La reducció màxima teòrica en una operació d'embotit és del 50 % i encara que tinguem les millors condicions possibles no es sobrepassa en una sola operació d'embotit, una reducció del 60 %.

Per tant, no es possible obtenir, en una sola operació, una copa que sigui molt més alta que el seu diàmetre.

Els dos mètodes bàsics de reembotir són el *directe o normal* i el *invers o indirecte*. En la reembotit directa, la superfície externa original de la copa segueix sent la superfície externa de la copa reembotida.

En la reembotit inversa la copa es doblega sobre si mateixa, de manera que la superfície externa de la primera embotit es converteix en la interna de la copa reembotida.

La reducció per reembotit és sempre menor que l'obtinguda en la primera embotit, perquè la fricció és essencialment més elevada, la reducció en les operacions successives d'embotit està també limitada pel progressiu enduriment per deformació. Si entre les reemboticions s'intercalen recuits intermitjos es podran aconseguir reduccions molt majors.

La majoria dels metalls admeten reduccions totals del 50 – 80 % abans de que es faci necessari un recuit.

#### 3.3.2.4.2 Reembotit amb planxat

Les operacions de reembotit en les que es produeix una disminució apreciable de l'espessor de paret de la peça de treball, es denominen operacions d'embotit amb planxat o estirat.

El estirat a planxat es realitza restringint el joc entre el punxó i la matriu per a que disminueixi l'espessor de la paret per efecte de la pressió radial.

### 3.3.2.4.3 Malformat

Tractant de fer servir eines més barates, va sorgir el procés *Guerin*. En aquest procés el desplaçament d'un bloc d'hule sota pressions per a que s'adapti al contorn d'un bloc de matriu col·locat entre ell i la taula de la premsa, permet la fabricació barata de formes, partint de làmines de metall. Les operacions d'embotit han tingut un èxit parcial ja que la falta de control sobre el metall que envolta el punxó condueix a la excessiva formació d'arrugues.

Per a vèncer la tendència a la formació d'arrugues als marges dels vasos estampats, degut a la falta de suport, s'usa una placa de pressió feta d'acer, per arrodonir el punxó, aplicant pressió a aquesta placa mitjançant un cilindre hidràulic.

### 3.3.2.4.4 Hidroformat

En aquest procés el bloc d'hule sòlid per a malformat es substitueix per un diafragma de hule, suportat per pressió hidràulica. Aquest diafragma està sellat en el cap de la premsa per a que resisteixi les pressions hidràuliques elevades usades quan la premsa treballa a plena càrrega.

### 3.3.2.5 Defectes d'embotit

El defecte més greu d'una peça durant el procés d'embotit és el desenvolupament d'una esquerda que destrueix la seva integritat estructural.. Però una peça també pot inutilitzar-se per aprimament de la paret, o per pandeig i plegament de les regions que han sofert tensions de compressió.

Un altre defecte pertorbador és la falta d'exactitud en les dimensions de la peça conformada, produïda per una recuperació elàstica que impedeix ajustar-se a les toleràncies admeses. Aquests errors junt amb altres menys importants poden presentar-se degut a defectes del material o ús incorrecte de les tècniques d'estampat.

En l'embotit profunda d'una copa, la causa d'inutilització més freqüent és desprendiment del fons de la mateixa, per esquinçament de la xapa en la regió més prima, que és la que arrodoneix el marge del punxó. Aquest defecte pot evitar-se donant un radi major al perfil del marge del punxó o també disminuint la pressió d'embotit. Quan es produeixen esquerdes radials en les pestanyes o als marges de la copa, és indicatiu de que el metall no ha tingut la suficient ductilitat per a suportar la gran contracció de longitud de la circumferència que es produeix en aquesta regió del disc. Aquest tipus de defecte esdevé amb freqüència en les reemboticions següents a la primera embotit que no han tingut recuit intermedi.



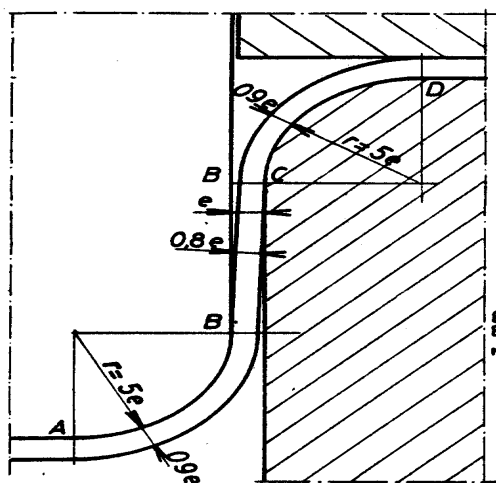
Els plegaments en les pestanyes o en els marges de les copes resulten del pandeig de la xapa produït per una elevada tensió tangencial de compressió. Per a evitar aquest defecte és necessari fer servir tensions del trepitjador suficientment elevades que impedeixin el pandeig. Els plegaments són molt difícils de planjar, presenten dificultats per a que embuteixi el anell extern del disc i el resultat acostuma a ser la formació d'esquerdes longitudinals al marge de la copa.

Les peces fabricades per conformació de les xapes solen tenir una gran extensió superficial, el que les fa molt susceptibles a les marques superficials que perjudiquen el aspecte de la peça. La rugositat superficial molt senyalada en la zona de les peces que han sofert deformació apreciable s'acostuma a dir pell de taronja perquè s'assembla molt a la superfície d'una taronja. Per a evitar aquesta desagradable condició superficial es necessari un adequat control de la grandària de gra de la xapa que s'ha d'embotir.

La direccionalitat de les propietats mecàniques (anisotropia) produïda per la laminació i altres processos primaris de treball poden afectar a les possibilitats de manufactura del metall. Les fibres mecàniques tenen poc efecte sobre la formabilitat, però el fibrat cristal·logràfic u orientació preferida (textura) poden modificar-la de manera important. En l'embotit profunda de copes l'anisotropia produeix un defecte conegut amb el nom d'orelles. Les orelles se formen al marge de la copa, el qual enlloc de ser una circumferència plana es converteix en un línia ondula inscrita en la superfície del cilindre, amb punts prominents que són les orelles. Sempre es produeix un nombre parell d'orelles, deuen deixar-se créixer el suficient per a poder eliminar-les mitjançant un tall d'acabat.

### 3.3.2.6 Càlcul dels elements

#### 3.3.2.6.1 Determinació dels radis del punxó i de la matriu



$R_p$  (radi del punxó) =  $5 \times e$  (espessor del material)

$R_m$  (radi de la matriu)

$$\begin{cases} e < 1 \text{ mm} & \rightarrow = 6 \text{ a } 8 \times e \\ 1 < e < 3 \text{ mm} & \rightarrow = 4 \text{ a } 6 \times e \\ 3 < e < 4 \text{ mm} & \rightarrow = 2 \text{ a } 4 \times e \end{cases}$$

Joc entre punxó i matriu aprox.  
 $= e \times 1,1 \text{ mm}$

Fig 3.94 Determinació dels radis del punxó i de la matriu

### 3.3.2.6.2 Càlcul del diàmetre primitiu a l'embotit d'una peça cilíndrica

Per a calcular el diàmetre inicial per embotir s'igualava la secció d'aquest cilindre de xapa, amb la secció de la peça ja conformada. Amb aquest procediment s'obtenen les següents fórmules:

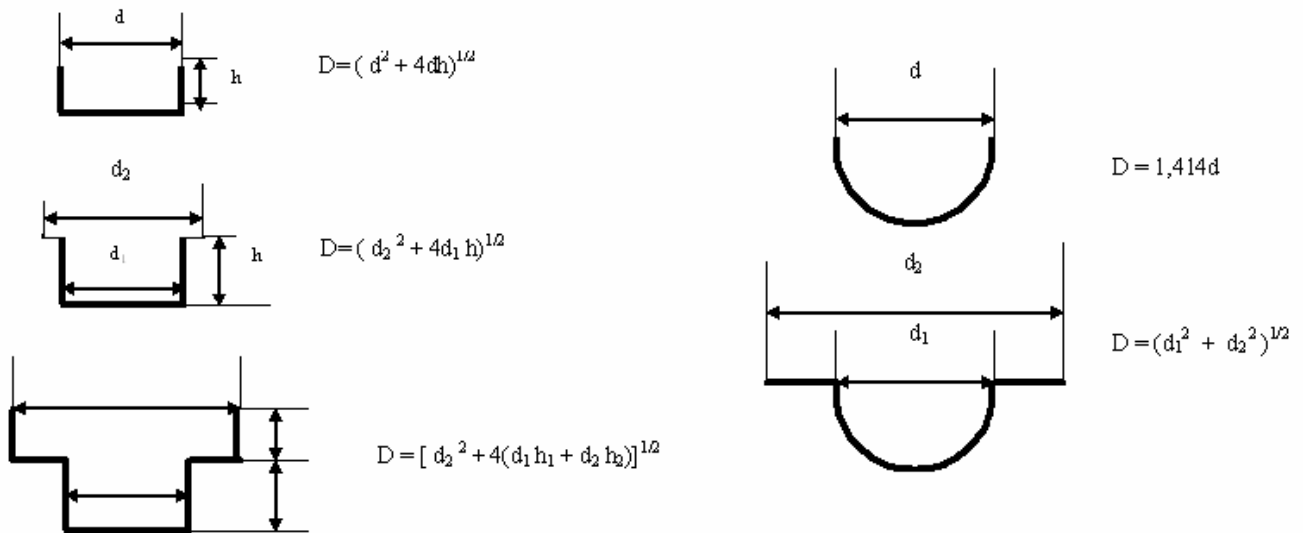


Fig 3.95 Diametres primitius a l'embotit de peces cilíndriques

### 3.3.3 Procés de punxonat

#### 3.3.3.1 Introducció

Els processos de conformat de xapa en general, i en particular el procés de punxonat, solen associar-se amb processos mecànics relativament simples de reduïda aportació tecnològica i escàs valor afegit. No obstant això, la realitat és molt diferent ja que aquests processos, igual que altres processos de tipus mecànic, estan fortament influenciats per factors molt diversos relacionats amb la màquina, les eines, el material i característiques geomètriques de la peça o el propi entorn del procés, tal i com es mostra a la taula següent:

MÀQUINA	EINA	MATERIAL	PEÇA	ENTORN
Potència	Geometria	Característiques del material	Geometria	Organització del procés
Característiques estructurals	Tipus de material	Tractament superficial	Espessor	Organització de la producció
Accionament Regulació	Tractament superficial		Qualitat	

Taula 3.21 Diferents factors que intervenen al punxonat

El punxonat és una operació de tall de xapes o làmines, generalment en fred, mitjançant un dispositiu mecànic format per dues eines: el punxó i la matriu. L'aplicació d'una força de compressió sobre el punxó obliga a aquest a penetrar en la xapa, creant una deformació inicial en règim elastoplàstic seguida d'un cisallament i trencament del material per propagació ràpida de fisures entre les arestes de tall del punxó i la matriu. El procés acaba amb l'expulsió de la peça tallada.

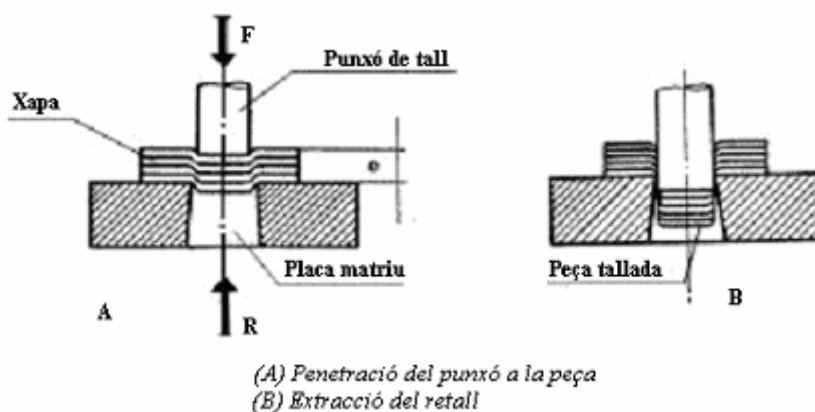


Fig 3.96 Esquema del punxonat

En general, la majoria dels estudis efectuats sobre la mecànica del procés de deformació plàstica i tall, tenen com finalitat analitzar els defectes que es presenten en la vora de les peces punxonades. Els primers resultats dels estudis sobre els mecanismes de tall en

punxonat es produïxen al començament de la dècada dels cinquanta, a Alemanya (Keller) i a Japó (Fukui i Maeda) simultàniament. Avui dia, els estudis se centren en l'obtenció de models matemàtics que juntament amb el mètode dels elements finits permetin el càlcul de les forces, determinar qualitat de la vora de la peça i la simulació del procés.

### 3.3.3.2 Anàlisi del procés de punxonat

#### 3.3.3.2.1 Mecànica del tall

En el procés de punxonat es poden considerar tres etapes:

1. Deformació: els esforços del punxó sobre la xapa metàl·lica, originen en aquesta una deformació, inicialment elàstica i després plàstica, al voltant de les vores del punxó i matriu.
2. Penetració: els fils de tall del punxó i matriu penetren dintre del material, produint-se esquerdes en el material a causa de la concentració de tensions al llarg dels fils de tall.
3. Fractura: les esquerdes originades a un costat i a l'altre de la xapa es troben, originant la separació del material. Així mateix, el punxó continua el seu descens per a expulsar la peça retallada. El joc de tall J, permet la penetració del punxó en la matriu (figura 3) i l'expulsió del material tallat.

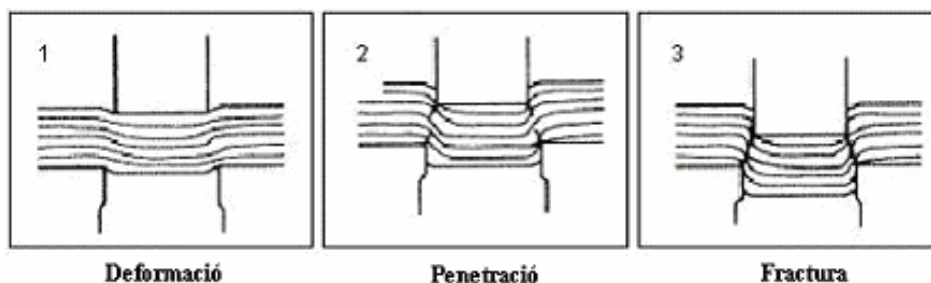


Fig 3.97 Etapes del punxonat

El joc de tall J té un efecte important en el procés de tall i es defineix com la distància lateral entre el fil del punxó i el fil de la matriu. En general, el valor del joc de tall sol expressar-se de dues maneres, bé com percentatge respecte a l'espessor de la xapa i (joc de tall relatiu) o donant el valor de la distància entre els fils. En el cas de punxons de secció circular, el joc de tall serà la meitat de la diferència de diàmetres de la matriu i el punxó, encara que és freqüent trobar dades de fabricants que es refereixen a la diferència de diàmetres de la matriu i punxó (2J).

El tall per punxonat produeix diverses característiques en les vores de la xapa i del material tallat. Aquestes característiques són:

1. Deformació plàstica caracteritzada per un petit radi  $R$ .
2. Zona brunyida d'aspecte brillant caracteritzada per l'ample  $D$ .
3. Fractura angular, amb aspecte mat, definida per la penetració  $P$ .
4. Rebaba caracteritzada per la seva altura  $H$ .

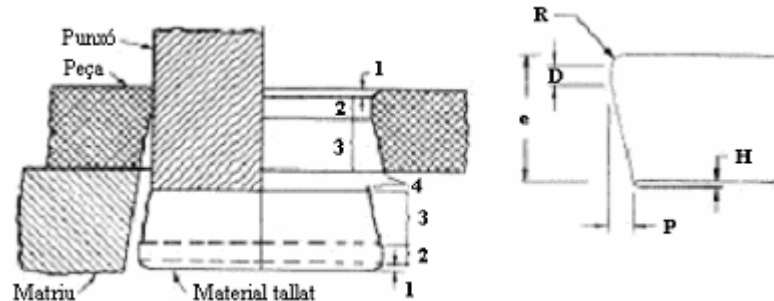


Fig 3.98 Característiques de la vora de tall amb joc normal

Totes aquestes característiques de la vora tallada depenen del tipus, duresa i espessor del material, joc entre punxó i matriu, estat dels fils de tall, subjecció del material i grandària del punxó en relació a l'espessor de la xapa. Les dimensions de la zona 2 (figura anterior) les determina el punxó, en el cas de la xapa, o la matriu, en el cas del material tallat.

L'extensió de la zona 1 deformada plàsticament juntament amb la zona 2 brunyida, es representen com percentatge de l'espessor del material i defineixen la distància recorreguda pel punxó abans de la fractura del material. El percentatge de la penetració del punxó varia amb el tipus i duresa del material. Així, a mesura que augmenta la duresa del material, el percentatge de penetració del punxó decreix. D'altra banda, la penetració del punxó augmenta quan la grandària del punxó és menor que 1,5 vegades l'espessor de la xapa, a causa del alt esforç de compressió que està sotmès el material en la zona de tall.

La fractura angular i la qualitat del tall depenen del joc entre matriu i punxó. Amb un joc insuficient entre punxó i matriu, es produeix un tall secundari. Les esquerdes inicials corresponents al punxó i matriu no estan alineades, i per tant, no arriben a trobar-se (figura següent). El descens continuat del punxó produeix la prolongació de les esquerdes i la superfície no tallada entre elles es trenca en una fractura secundària. En la part inferior de la carrera del punxó, es produeix un tall secundari i una segona zona brunyida. La disminució del joc, per sota dels valors normals, provoca la disminució de tots els defectes de forma, millorant per tant, la precisió de les vores obtingudes.

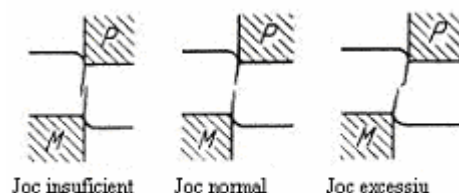


Fig 3.99 Posició relativa de les esquerdes segons el joc

Quan el joc emprat és massa baix comencen a aparèixer talls secundaris que perjudiquen la qualitat de les vores. Cal destacar, que al disminuir el joc de tall es produeix una millora en la precisió de la peça, no obstant això, altres factors com el desgast de les eines o l'energia consumida es veuen afectats negativament. En el cas de tenir un joc de tall excessiu apareix una deformació plàstica excessiva, una part brunyida menor i una altura de rebaba major. D'altra banda, cal ressaltar que, a l'augmentar el joc de tall per sobre dels valors normals, s'aconsegueix augmentar la vida de l'eina en detriment de la precisió obtinguda en les vores. Així, el joc de tall apropiat serà aquell que no causi un tall secundari i tingui una deformació plàstica i altura de rebaba petites.

Des del punt de vista de la mecànica de la fractura del material, pot considerar-se que el funcionament del procés és òptim quan les esquerdes iniciades des del punxó i matriu es troben alineades. Ja que el joc de tall és el paràmetre que afecta més directament a la mecànica de la fractura del material, el joc de tall òptim haurà de ser capaç de proporcionar aquesta alineació.

### 3.3.3.2 Forces en el punxonat

La força de tall varia en funció del joc mantenint els altres paràmetres constants. En figura posterior, es representa la força exercida per un punxó de 10 mm de diàmetre i el seu desplaçament al tallar una xapa d'acer de 2,8 mm d'espessor, amb diferents jocs de tall. En general, les corbes poden ser descompostes en dues parts clarament diferenciades: una primera en la qual la força augmenta des de zero fins al seu valor màxim, punt aquest corresponent a l'inici de la fractura, i una segona en la qual les esquerdes creixen i es completa el tall del material. La primera zona presenta un aspecte molt similar en totes les corbes, no obstant això, des del moment que s'inicia la fractura, es desenvolupen fluctuacions importants per als diferents jocs.

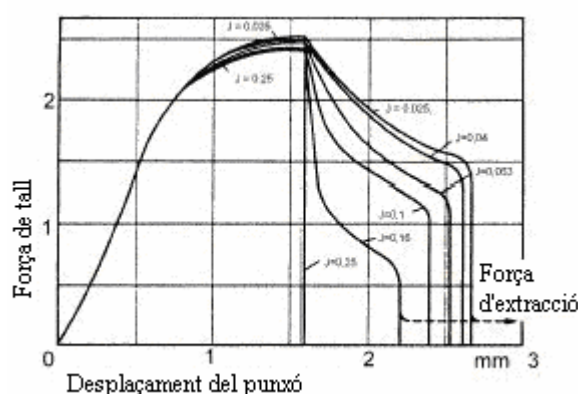


Fig 3.100 Influència del joc de tall  $J$  sobre la força de tall

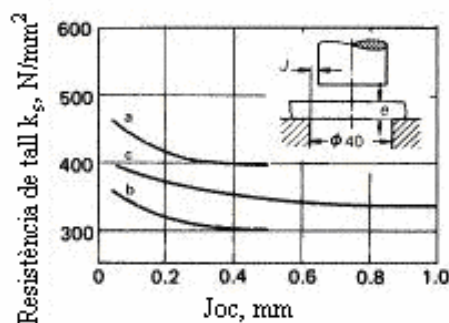


Fig 3.101 Resistència de tall per punxonat segons el joc

- a)  $sr = 630 \text{ N/mm}^2$ ,  $e = 5 \text{ mm}$ ;  
b)  $sr = 450 \text{ N/mm}^2$ ,  $e = 5 \text{ mm}$ ;  
c)  $sr = 460 \text{ N/mm}^2$ ,  $e = 10 \text{ mm}$ .

La formació de l'esquerda pot associar-se als descensos sobtats que s'aprecien en els diagrames. Quan les esquerdes originades no es troben alineades, els forts pendents de descens tendeixen a suavitzar-se, arribant en algunes ocasions a l'horitzontalitat. En aquests casos, sol produir-se novament disminucions importants de la força a causa de la formació de talls secundaris. Com a conseqüència de les fluctuacions produïdes en la disminució de la força, es produeix un augment de l'àrea tancada pel diagrama, i per tant, de l'energia consumida en el procés. Per aquesta raó, quan en el tall de la xapa les esquerdes presenten la mateixa alineació, l'energia consumida pel procés resulta mínima.

La resistència de tall per punxonat  $k_s$  serà, a partir de la màxima força de tall  $F_{s \text{ max}}$ :

$$k_s = \frac{F_{s \text{ max}}}{A_s}$$

on  $A_s$  és l'àrea calculada a partir de l'espessor de la xapa  $e$  i el perímetre  $l_p$  de tall:

$$A_s = e \cdot l_p$$

i  $k_s$  inclou els efectes del joc de tall, desgast de l'eina i la influència d'altres paràmetres, com les propietats del material, espessor i forma del contorn del punxó.

La resistència al tall per punxonat  $k_s$  decreix amb l'augment del joc de tall, sent la seva variació d'aproximadament un 14% en el rang de  $J = 0,01$  ,  $0,1e$ . En la figura anterior es pot observar aquest efecte, utilitzant tres materials distints i punxons perfectament afilats. Conforme es realitzen punxonats, el punxó sofreix un desgast que té com a conseqüència un increment de  $k_s$  de fins a 1,6 vegades. D'altra banda, la resistència de tall es veu afectada pel diàmetre del forat punxonat, així el valor de la resistència de tall decreix amb l'augment del diàmetre del punxó si es mantenen les altres condicions constants (figura posterior). Un altre factor d'influència, és la forma de la secció del punxó. En les zones de gran curvatura existeix una concentració de tensions, motiu pel qual és més freqüent el trencament del punxó en els cantons angulosos.



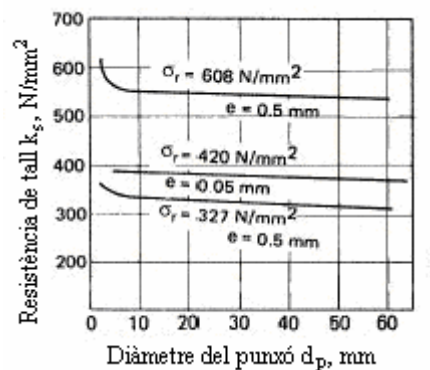


Fig 3.102 Efecte del diàmetre del punxó en la resistència al punxonat

En la pràctica, en la indústria s'estima el valor de  $k_s$  mitjançant la tensió màxima de cisallament  $\tau_B$ , i la força màxima de tall mitjançant:

$$F_{s\max} = l_p e \tau_B$$

El valor de  $\tau_B$  s'obté de taules o a partir de la resistència al trencament  $\sigma_r$ . En general, es pren com resistència de cisallament  $\tau_B$  un valor igual al 80% de la resistència de trencament, no obstant això, aquesta proporció varia amb el tipus i espessor del material.

Segons estudis realitzats per Oehler, existeix una dependència lineal entre la resistència al cisallament i el logaritme de la relació  $d_p/e$ . Segons aquests estudis:

$$\frac{d_p}{e} \geq 2 \Rightarrow \tau_B = 0,8\sigma_r$$

$$\frac{d_p}{e} = 1 \Rightarrow \tau_B = \sigma_r$$

$$\frac{d_p}{e} < 1 \Rightarrow \tau_B > \sigma_r$$

Una vegada tallat el material, ha de ser expulsat a través de la matriu, que en general té forma cònica per a facilitar l'extracció i dificultar el retorn del material tallat amb el retrocés del punxó. La força necessària ha de vèncer el fregament i compressió radial entre el punxó i la xapa i entre la peça tallada i la matriu. Part d'aquestes forces també estan presents durant el retrocés del punxó a causa del fregament de la xapa amb el punxó. Aquesta força d'extracció sol expressar-se com percentatge de la força necessària per al punxonat i depèn del material i del joc de tall.

Un altre factor a tenir en compte, és l'estat del punxó. Així per exemple, el progressiu embotament sofert per aquest, origina un augment de la força de tall, i al mateix temps una disminució de la força de retrocés.

També la velocitat de tall té influència sobre la força de tall. Així, al augmentar aquesta velocitat, disminueix la força necessària, degut fonamentalment a l'elevació de la temperatura del material que s'origina amb l'augment de la velocitat de deformació.

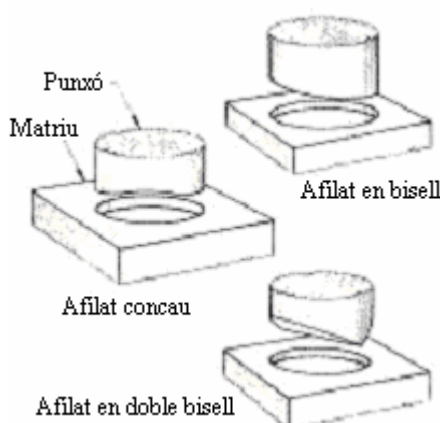


Fig 3.103 Afilats especials del punxó

Quan les forces de tall són massa elevades, aquestes poden ser reduïdes considerablement mitjançant un punxonat per tall progressiu, això és, inclinant el tall del punxó (figura anterior). No obstant això, la variació de la força no suposa una variació de la potència consumida en el procés.

### 3.3.3.2.3 Desgast de l'eina

L'eina, durant el seu treball, està subjecta a una sèrie d'accions mecàniques, tèrmiques i químiques, que exerceixen un efecte de desgast, i per tant, és de gran interès conèixer els factors que afecten a aquest. Entre aquests factors, es poden citar el material de treball, el nombre de punxonats, el material de l'eina, el diàmetre del punxó, el joc de tall i la lubricació.

Tots els mecanismes de desgast (adhesió, abrasió, etc.) poden presentar-se quan es realitzen operacions de punxonat, tant en els punxons com en la matriu sustentadora de la xapa a punxonar. El desgast es produeix en tres zones: cares, flancs i vores del punxó i matriu (figura posterior).

Els flancs i vores del punxó i matriu estan exposats a l'acció de les superfícies generades en el procés de tall, i el lliscament relatiu provoca fenòmens d'adhesió en els flancs i vores.

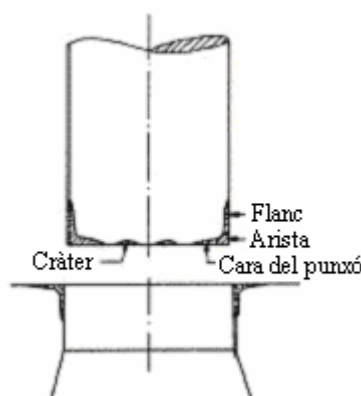


Fig 3.104 Desgast del punxó i matriu

La peça punxonada sofreix un enduriment al deformar-se plàsticament, produint un creixement de les pressions locals i provocant l'aparició de partícules més abrasives. També l'alta velocitat de producció dona com a conseqüència un alt nombre d'impactes, afavorint l'adhesió de partícules i fatiga dels fils de tall. Simultàniament, augmenta la temperatura de la matriu, del punxó i de la peça, pel que incrementa l'adhesió i s'afavoreix l'oxidació.

La deformació elàstica de la peça produeix un moviment relatiu al llarg de la cara del punxó, inicialment cap a l'exterior i posteriorment, una vegada iniciada la fractura, cap a l'interior. Aquest fet produeix un desgast abrasiu en la cara frontal del punxó. El trepitjador limita aquesta deformació elàstica del material, amb la qual cosa es redueix el desgast del punxó. D'altra banda, la recuperació elàstica de la xapa produeix un desgast del flanc del punxó en el moviment de retracció.

En la superfície lateral del punxó i de la matriu, el desgast és degut fonamentalment al mecanisme d'adhesió. Altra zona que sofreix desgast, és la vora de tall, que presenta ambdós mecanismes de desgast, no sent important la influència del tipus de material de l'eina sobre el mateix.

Els criteris d'inutilitat de l'eina comunament utilitzats, són els següents:

- Consum energètic i força màxima necessària en el procés.
- Altura màxima tolerable de la rebaba generada en el tall.
- Mesurament del desgast de les cares, flancs i vores en el punxó i matriu.
- Mesura de l'augment del joc de tall com a conseqüència del desgast.

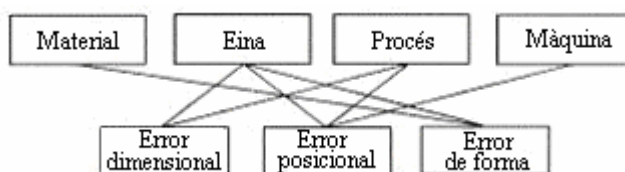


Fig 3.105 Factors que afecten als defectes geomètrics de les peces punxonades.

Sembla lògic establir models d'equacions de vida, igual que en les operacions de mecanitzat per arrencada de ferritja, que permetin saber amb antelació el nombre de punxonats que és capaç de realitzar un conjunt punxó-matriu, abans de ser rebutjat. Aquests models permeten establir la durada de l'eina abans d'arribar a un valor de desgast determinat, el qual serà funció del criteri d'optimització triat (mínim cost, màxima producció, màxima qualitat, etc.). Els estudis realitzats sobre aquest tema són relativament escassos, sobretot per la complexitat del mecanisme de desgast, íntimament lligat amb la vida de l'eina. Per tant, resulta difícil establir models sobre una gran base de dades experimentals.

### 3.3.3.2.4 Precisió de les peces punxonades

En el punxonat, com en qualsevol altre procés de fabricació, és necessari establir les especificacions de precisió necessàries per a satisfer les necessitats de l'usuari. Per tant, resulta interessant fer un estudi de la precisió, amb la finalitat de poder definir aquestes especificacions, de la forma més encertada possible.

La precisió de les peces punxonades pot ser caracteritzada pels següents defectes: dimensionals, posicionals i de forma. Els factors que afecten a aquests defectes són principalment el material, les eines, les variacions del procés i la màquina. En la figura anterior apareixen representats els diferents factors que afecten a cadascun d'aquests defectes.

Els diàmetres del retall i del forat, amidats sobre la superfície polida, han de coincidir en teoria amb els del punxó i matriu respectivament. Aquestes dimensions teòriques poden sofrir alteracions, a causa de la influència d'alguns factors, tals com la inexactitud en les dimensions de les eines, les deformacions elàstiques d'aquestes o les tensions elàstic-plàstiques produïdes en el material.

Pel que fa als defectes posicionals, aquests comprenen dos tipus d'imprecisions geomètriques: irregularitats en el contorn del retall i inexactituds dels forats de les peces perforades. Les primeres són degudes normalment a la falta de coaxialitat entre punxó i matriu, a defectes en les guies o a la inexactitud de forma de les eines. Quant a la inexactitud de posició dels forats, depèn de la precisió del sistema de moviment de la xapa (taula següent).

Marca	Model	Increment mínim programable	Desviació de la posició (mm)	Dispersió mitja de posició (mm)
Trumpf	Trumatic 2000	0,01	±0,1	±0,03
LVD	Models Delta	0,01	±0,1	±0,05
Amada	Vipros-255	0,01	±0,05	-
Amada	Vipros 358-368	0,01	±0,1	-
Goiti	Models PGA	0,01	±0,12	-
Omes	Omatic 130	0,01	±0,1	±0,05

Taula 3.22 Inexactitud de posició dels forats per a diferents punxonadores

Els defectes de forma són aquells que es presenten en les vores de la peça i depenen de les eines i del material. Els factors de les eines que més afecten a aquestes imprecisions geomètriques, són el joc de tall, la forma del punxó i l'estat de desgast del fil, mentre que els del material, són la qualitat, resistència i espessor de la xapa.

El valor de l'altura de rebaba (H) ve condicionat, en el cas del retall, per l'estat de desgast del punxó, mentre que en el forat, aquest depèn del grau de desgast de la matriu. Per tant, l'altura de la rebaba depèn dels mateixos factors que el desgast de les eines. La figura següent mostra l'altura de la rebaba en funció del nombre de punxonats efectuats.

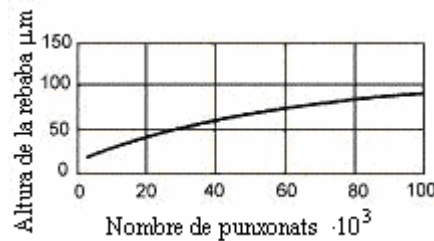


Fig 3.106 Variació de l'altura de la rebaba amb el nombre de cops

## 3.3.4 Procés d'unió per soldadura

### 3.3.4.1 Fonaments de la soldadura

La soldadura és un procés d'unió permanent de materials en el qual es fonen les superfícies de contacte de dos (o més) parts mitjançant l'aplicació convenient de calor, pressió o ambdues alhora. La integració de les parts que s'uneixen mitjançant soldadura es denomina un ensamblat soldat. En alguns casos s'agrega un material d'aportació o farciment per a facilitar la fusió. La soldadura s'associa regularment amb parts metàl·liques, però el procés també s'usa per a unir plàstics. Aquest anàlisi de la soldadura s'enfocarà en la unió de metalls.

La soldadura és un procés relativament nou. La seva importància comercial i tecnològica es deriva del següent:

- La soldadura proporciona una unió permanent. Les parts soldades es tornen una sola unitat.
- La unió soldada pot ser més forta que els materials originals si s'usa un metall de farciment que tingui propietats de resistència superiors a la dels materials originals i s'empren les tècniques de soldadura adequades.
- En general, la soldadura és la forma més econòmica d'unir components, en termes d'ús de materials i costos de fabricació, els mètodes mecànics alternatius d'ensamblament requereixen alteracions més complexes de les formes (per exemple, trepat d'orificis) i addició de subjectadors (rebladures o rosques). L'ensamblament mecànic resultant en general és més pesat que la soldadura corresponent.
- La soldadura no es limita a l'ambient de fàbrica. Pot realitzar-se en el camp.

Encara que la soldadura té els avantatges indicats, també té certes limitacions i desavantatges (o desavantatges potencials):

- La majoria de les operacions de soldadura es realitzen en forma manual i són elevades en termes de cost de mà d'obra. Moltes operacions de soldadura es consideren qüestions especialitzades i no són moltes les persones que les realitzen.
- Gairebé tots els processos de soldadura impliquen l'ús de molta energia, i per tant són perillosos.
- Atès que la soldadura obté una unió permanent entre els components, no permet una separació adequat. Si es requereix una separació ocasional del producte (per a reparació o manteniment), no ha d'usar-se la soldadura com mètode d'ensamblament.
- La unió soldada pot patir certs defectes de qualitat que són difícils de detectar. Els defectes poden reduir la resistència de la unió.

### 3.3.4.2 Conceptes de la tecnologia de la soldadura

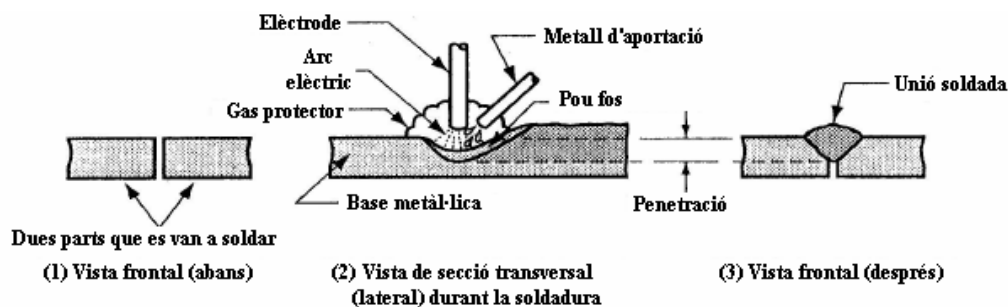
La soldadura implica la fusió o unió de dues parts metàl·liques en les seves superfícies a empalmar. Les superfícies a empalmar són les superfícies que estan en contacte o estan molt properes per a ser unides. En general, la soldadura es realitza en parts del mateix metall, però és possible usar algunes operacions per a unir metalls diferents.

La American Welding Society (Societat Nord-americana de Soldadura) ha Catalogat més de 50 tipus d'operacions distintes que utilitzen diversos tipus o combinacions d'energia per a proporcionar l'energia requerida. Podem dividir els processos de soldadura en dos grups principals: a) soldadura per fusió i b) soldadura d'estat sòlid.

#### a) Soldadura per fusió

Els processos de soldadura per fusió usen calor per a fondre els metalls base. En moltes operacions de soldadura per fusió, s'afegeix un metall d'aportació a la combinació fosa per a facilitar el procés d'unió i aportar volum i resistència a la part soldada. Una operació de soldadura per fusió en la qual no s'afegeix un metall d'aportació es denomina soldadura autògena. Les categories de soldadura per fusió d'ús més ampli són:

- Soldadura amb arc elèctric, SAE (en anglès AW). La soldadura amb arc elèctric fa referència a un grup de processos de soldadura en els quals l'escalfament dels metalls s'obté mitjançant un arc elèctric, com es mostra en la figura de baix. Algunes de les operacions de soldadura amb arc elèctric també apliquen pressió durant el procés, i la majoria utilitza un metall d'aportació.
- Soldadura per resistència, SR (en anglès RW). La soldadura per resistència obté la fusió usant la calor d'una resistència elèctrica per al flux d'un corrent que passa entre les superfícies de contacte de dues parts sostingudes juntes sota pressió.
- Soldadura amb oxigen i gas combustible, SOGC (en anglès OFW). Aquests processos d'unió usen un gas d'oxigen combustible, tal com una barreja d'oxigen i acetilè, amb el propòsit de produir una flama calenta per a fondre la base metàl·lica i el metall d'aportació en cas que s'utilitzi.
- Altres processos de soldadura per fusió. A més dels tipus anteriors hi ha altres processos de soldadura que produeixen la fusió dels metalls units. Els exemples inclouen la soldadura amb feix d'electrons i la soldadura amb raig làser.



(1) Abans de la soldadura, (2) Durant la soldadura es fon la base metàl·lica i s'agrega el metall d'aportació al conjunt fos i (3) La soldadura acabada. Hi ha moltes variacions del procés de soldadura amb arc elèctric

Fig 3.107 Fonaments de la soldadura amb arc elèctric



## **b) Soldadura d'estat sòlid**

Els processos de soldadura d'estat sòlid usen pressió o una combinació de calor i pressió. Si s'usa calor, la temperatura del procés està per sota del punt de fusió dels metalls que es van a soldar. No s'utilitza un metall d'aportació en aquests processos. Alguns dels processos més representatius són :

- Soldadura per difusió, SD (en anglès DFW). En la soldadura per difusió, es col·loquen juntes dues superfícies sota pressió a una temperatura elevada i es produeix la coalescència de les parts per mitjà de fusió d'estat sòlid.
- Soldadura per fricció, SF (en anglès FRW). En aquest procés, la coalescència s'obté mitjançant la calor de la fricció entre dues superfícies.
- Soldadura ultrasònica, SU (en anglès USW). La soldadura ultrasònica es realitza aplicant una pressió moderada entre les dues parts i un moviment oscil·latori a freqüències ultrasòniques en una direcció paral·lela a les superfícies de contacte. La combinació de les forces normals i vibratòries produeix intenses tensions que remouen les pel·lícules superficials i obtenen la unió atòmica de les superfícies.

La soldadura té les seves principals aplicacions en 1) la construcció per exemple. Edificis, ponts, estructures metàl·liques, etc.; 2) la producció de canonades amb costura, recipients per a pressió, calderes, tancs d'emmagatzematge, etc.; 3) la construcció naval; 4) la indústria de l'aeronàutica i espacial; 5) els automòbils i els ferrocarrils. La soldadura es realitza en grans indústries però també, per la seva facilitat de manipulació per als processos tradicionals, es realitza en distints llocs (terreny a l'aire lliure, un garatge, un taller comú) i no es limiten a una fabrica.

### **La qüestió de la seguretat**

La soldadura és per naturalesa perillosa per a les persones. Els que executen aquestes operacions han de prendre serioses mesures de seguretat. Les altes temperatures dels metalls fusionats en la soldadura són un perill obvi. En la soldadura amb gas, els combustibles (per exemple, l'acetilè) corren el risc d'incendiar-se. Gran part dels processos usen molta energia per a produir la fusió de les superfícies de les parts que es van a unir. En molts processos de soldadura, el corrent elèctric és una font d'energia tèrmica, pel que existeix el risc d'una descàrrega elèctrica per al treballador.

Certs processos de soldadura tenen els seus propis perills particulars. En la soldadura amb arc elèctric, el treballador ha de considerar els següents aspectes:

- Màscara de soldar, protegeix els ulls, la cara, el coll i ha d'estar proveïda de filtres inactínics d'acord al procés i intensitats de corrent empleades.
- Guants de cuir, tipus mosqueter amb costura interna, per a protegir les mans i canells.
- Davantal de cuir, per a protegir-se d'esquixades i exposició a raigs ultraviolats de l'arc.

- Polaines i casaca de cuir, quan és necessari fer soldadura en posicions verticals i sobre cap, han d'usar-se aquests additaments, per a evitar les severes cremades que puguin ocasionar les esquitxades del metall fos.
- Sabates de seguretat, que cobreixin els turmells per a evitar l'entrada d'esquitxades.
- Capell, protegeix el cabell i el cuir cabellut, especialment quan es fa soldadura en posicions.
- Protecció de la vista. La protecció de la vista és un assumpte tan important que mereix consideració a part. L'arc elèctric que s'utilitza com font de calor i la temperatura que arriba per sobre els 4.000° C, desprèn radiacions visibles i no visibles. Dintre de les no visibles, tenim aquelles d'efecte més nociu com són els raigs ultraviolats i infrarojos. El tipus de cremada que l'arc produeix en els ulls no és permanent, encara que si és extremadament dolorosa. El seu efecte és com “tenir sorra calenta en els ulls”. Per a evitar-la, ha d'utilitzar-se una lent protectora (vidre inactínic) que ajusti bé i, davant d'aquest, per a la seva protecció, sempre cal mantenir una coberta de vidre transparent, la qual ha de ser substituïda immediatament en cas de deteriorar-se. A fi d'assegurar una completa protecció, la lent protectora ha de posseir la densitat adequada al procés i intensitat de corrent utilitzat.

### **L'automatització de la soldadura**

A causa dels riscos de la soldadura manual i els requeriments d'augmentar la productivitat i millorar la qualitat dels productes, s'han desenvolupat diverses formes d'automatització. Les categories inclouen la soldadura amb màquina, la soldadura automàtica i la soldadura robòtica.

La soldadura amb màquina es defineix com una soldadura mecanitzada amb equip que realitza l'operació sota la supervisió contínua d'un operador. Normalment s'obté mitjançant un cap per a soldadura que es mou per mitjans mecànics. El treballador humà ha d'observar contínuament i interactuar amb l'equip per a controlar l'operació.

Si l'equip és capaç d'executar l'operació sense l'ajustament dels controls per part d'un operador humà, es denomina una soldadura automàtica. Una persona sempre està present per a vigilar el procés i detectar variacions de les condicions normals. El que distingeix la soldadura automàtica de la soldadura amb màquina és un controlador del cicle de soldadura, que regula el moviment de l'arc elèctric i la posició de la peça de treball sense atenció humana contínua. La soldadura automàtica requereix una instal·lació o un posicionador de soldadura per a col·locar el material de treball en relació amb el cap del soldador. També requereix un major grau de consistència i precisió en les parts components usades en el procés. Per aquestes raons, la soldadura automàtica només es justifica per a producció de quantitats grans.

En la soldadura robòtica s'usa un robot industrial o un manipulador programable que controla de forma automàtica el moviment del cap per a soldar respecte al treball. L'abast versàtil del braç del robot permet l'ús d'instal·lacions relativament simples, i la capacitat del robot per a reprogramar-se amb noves configuracions de les parts, permet que aquesta forma d'automatització es justifiqui per a quantitats de producció relativament baixes. Una

cel·la robòtica de soldadura amb arc elèctric normal consta de dues instal·lacions per a soldadura i un ajustador humà per a carregar i descarregar parts mentre el robot efectua la soldadura. A més de la soldadura amb l'arc elèctric, també s'usen robots industrials en les plantes d'ensamblament final d'automòbils per a realitzar soldadura per resistència sobre carrosseries.

### 3.3.4.2.1 La unió per soldadura

La soldadura produeix una unió sòlida entre dues parts. En aquesta secció, s'examinarà el tema de les unions per soldadura, els tipus d'unions i els diferents tipus de soldadures que s'usen per a unir les parts.

#### Tipus d'unions

Hi ha cinc tipus bàsics d'unions per a integrar dues parts d'una junta. D'acord amb la figura es defineixen de la manera següent:

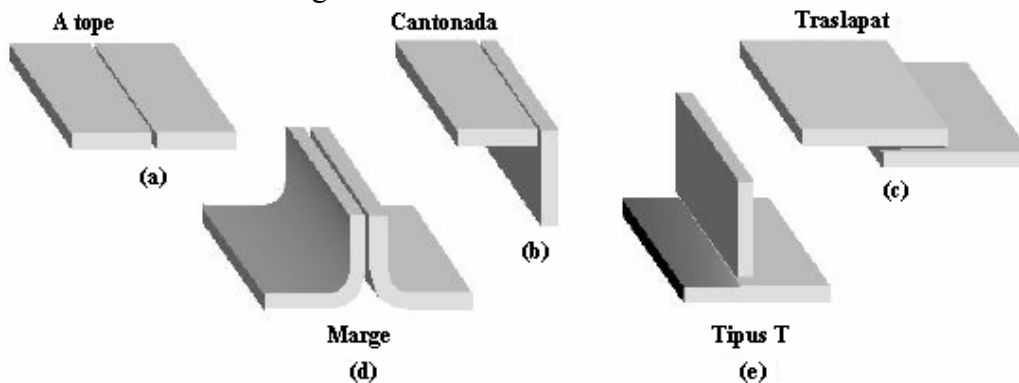


Fig 3.108 Cinc tipus bàsics d'unions

- Unió empalmada. En aquest tipus d'unió, les parts es troben en el mateix pla i s'uneixen en les seves vores.
- Unió de cantonada. Les parts en una unió de cantonada formen un angle recte i s'uneixen en la cantonada de l'angle.
- Unió superposada. Aquesta unió consisteix en dues parts que se sobreposen.
- Unió de marges. Les parts en una unió de marges estan paral·leles amb almenys un dels seus marges en comú i la unió es fa en el marge comú.
- Unió en T. En la unió en T, una part és perpendicular a l'altra en una forma semblant a la lletra T.

#### Tipus de soldadures

Totes les unions anteriors es fan mitjançant soldadura. També és possible usar altres processos per a alguns dels tipus d'unions, però la soldadura és el mètode de major aplicació. És convenient distingir entre el tipus d'unió i el tipus de soldadura que s'aplica a la unió. Les diferències entre els tipus de soldadura estan en la geometria i el procés de soldadura.

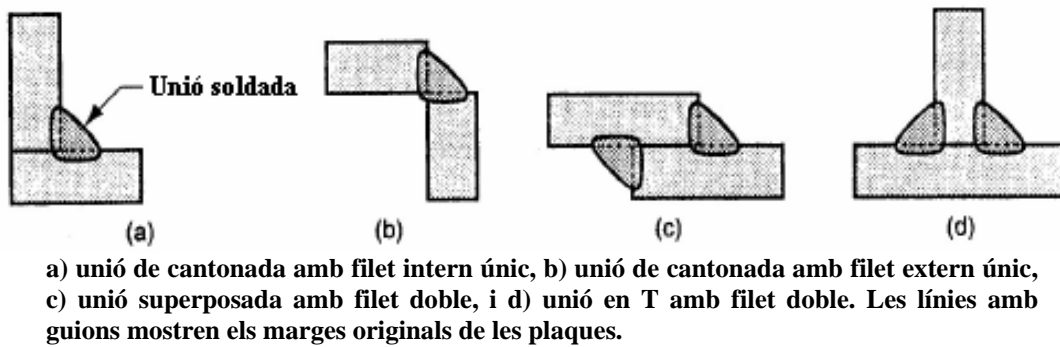
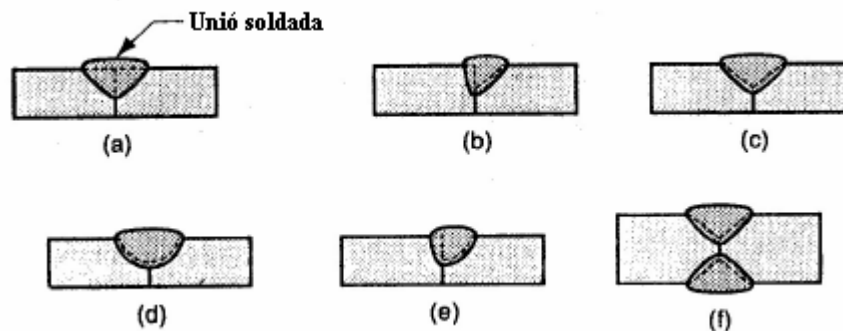


Fig 3.109 Diverses formes de soldadura de filet

S'usa una soldadura de filet per a emplenar els marges de les plaques creades mitjançant unions de cantonada, sobreposades i en T, igual que en la figura anterior. S'usa un metall de farciment per a proporcionar una secció transversal d'aproximadament la forma d'un triangle. És el tipus de soldadura més comuna en la soldadura amb arc elèctric i en la d'oxigen i gas combustible. Perquè requereix una mínima preparació dels marges: s'usen les vores quadrades bàsiques de les parts. Les soldadures de filet poden ser senzilles o dobles (això és, soldar-se en un o ambdós costats) i contínues o intermitents (això és, soldades al llarg de tota la longitud de la unió, o amb espai sense soldar al llarg d'un costat).

Les soldadures amb bisell o ranura generalment requereixen que es motllurin les vores de les parts amb un bisell per a facilitar la penetració de la soldadura. Les formes de bisell inclouen un quadrat en un costat, bisell en V, en U i en J, en costats senzills o dobles, com es mostra en la figura següent.



a) soldadura amb bisell quadrat en un costat; b) soldadura amb bisell únic; c) soldadura amb bisell en V únic; d) soldadura amb bisell en U únic; e) soldadura amb bisell en J únic; f) soldadura amb solc en X per a seccions més gruixudes. Les línies amb guions mostren els marges originals de les parts.

Fig 3.110 Algunes soldadures amb bisell típiques

S'usa material de farciment per a saturar la unió, en general mitjançant soldadura amb arc elèctric o amb oxigen i gas combustible. Amb freqüència es preparen les vores de les parts més enllà d'un quadrat bàsic, encara que es requereixi d'un processament addicional, per a augmentar la fermesa de la unió soldada o on es van a soldar parts més gruixudes. Encara que s'associa més estretament amb una unió empalmada, la soldadura amb bisell s'usa en tots els tipus d'unions, excepte en la sobreposada.

Les soldadures amb inserits i les soldadures ranurades, s'usen per a unir plaques planes, com es mostra en la figura de sota, usant un o més buits o ranures en la part superior, que després seran emplenats amb metall d'aportació.

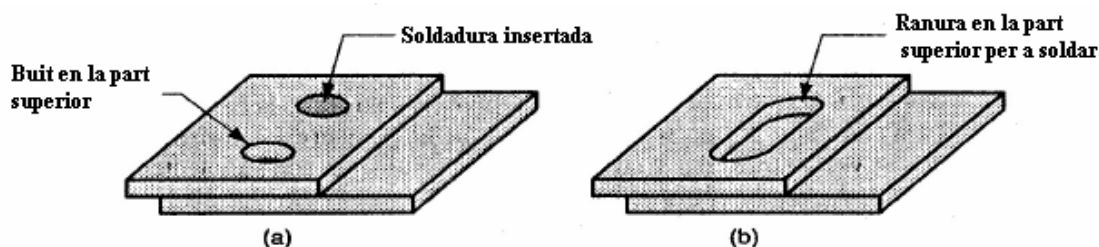


Fig 3.111 (a) Soldadura amb inserit i (b) soldadura en ranura.

La soldadura de punts i la soldadura engalzada, usades per a unions sobreposades. Es mostren en la figura de baix. Una soldadura de punts és una petita secció fosa entre les superfícies de dues xapes o plaques. Normalment es requereixen diverses soldadures de punts per a unir les parts. S'associa més estretament amb la soldadura per resistència. Una soldadura engalzada és similar a una de punts, excepte que consisteix en una secció fosa més o menys contínua entre les dues xapes o plaques.

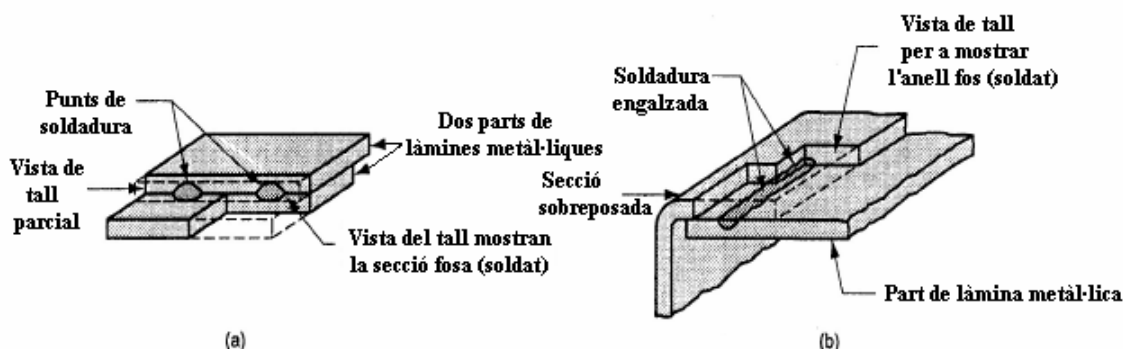


Fig 3.112 (a) Soldadura de punts i (b) soldadura engalzada

La figura següent mostra soldadures en flancs i soldadures en superfícies. Una soldadura en flanc es fa en les vores de dues (o més) parts, en general làmines metàl·liques o plaques primes, on almenys una de les parts està en un flanc, com s'aprecia en la part (a). Una soldadura en superfície no s'usa per a unir parts, sinó per a dipositar metall de farciment sobre la superfície d'una part base en una o més gotes de soldadura, les gotes de soldadura s'incorporen en una sèrie de passades paral·leles sobreposades, amb el que es cobreixen grans àrees de la part base. El propòsit és augmentar el grossor de la placa o proporcionar un recobriment protector sobre la superfície.

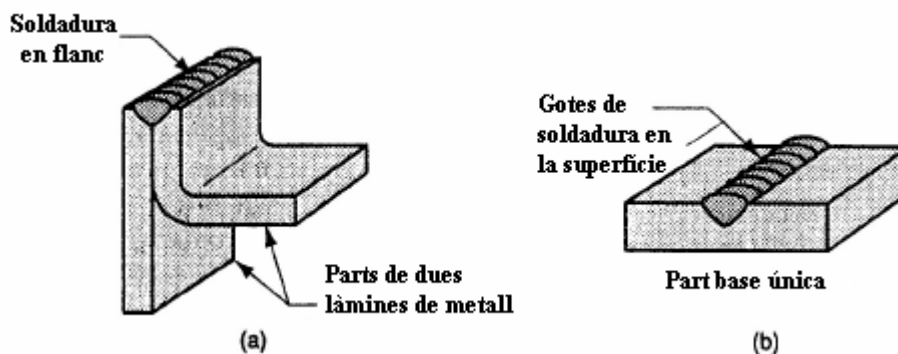


Fig 3.113 (a) Soldadura en flanc i (b) Soldadura en superfície

### 3.3.4.2.2 La física de la soldadura

Encara que hi ha diversos mecanismes per a fondre la soldadura, la fusió és per molt el mitjà més comú. Per a aconseguir la fusió, s'aplica una font d'energia calorífica d'alta densitat a les superfícies que es van a empalmar i les temperatures resultants són suficients per a produir la fusió localitzada dels metalls base. Si s'agrega un metall d'aportació, la densitat calorífica ha de ser suficientment alta per a fondre'l també. La densitat calorífica es defineix com l'energia transferida a la peça per unitat d'àrea de superfície, això és,  $\text{W/mm}^2$ . El temps per a fondre el metall és inversament proporcional a la densitat de la potència. A baixes densitats de potència, es requereix una gran quantitat de temps per a produir la fusió. Si la densitat d'energia és massa baixa, la calor es condueix a les parts de treball tan ràpidament com es transmet a la superfície i mai ocorre la fusió. S'ha trobat que la mínima densitat d'energia requerida per a fondre la majoria dels metalls en la soldadura és d'aproximadament  $10 \text{ W/mm}^2$ . Conforme augmenta la densitat calorífica, es redueix el temps de fusió. Si la densitat d'energia és massa alta, un mica per sobre de  $105 \text{ W/mm}^2$ , les temperatures localitzades vaporitzen el metall en la regió afectada. Per tant, hi ha un rang de valors pràctics per a la densitat d'energia, dintre del qual pot executar-se la soldadura. Les diferències entre els processos de soldadura en aquest rang són: 1) la velocitat a la qual s'executa la soldadura o 2) la grandària de la regió que pot soldar-se. La taula següent proporciona una comparació de la densitat d'energia per als grups principals de processos de soldadura per fusió (a més de dues operacions amb densitat d'energia molt alta).

Procés de soldadura	Densitat d'energia $\text{W/mm}^2$
Soldadura amb oxigen i gas combustible	(10)
Soldadura amb arc elèctric	(50)
Soldadura per resistència	(1000)
Soldadura per raig làser	(9000)
Soldadura amb feix d'electrons	(10000)

Taula 3.23 Comparació de varis processos de soldadura per fusió segons les seves densitats de potència

La soldadura amb oxigen i gas combustible és capaç de desenvolupar grans quantitats de calor, però la densitat de calor és relativament baixa degut al fet que s'estén sobre un àrea



gran. El gas oxiacetilènic, el més calent dels combustibles per a soldadura amb oxigen i gas combustible, crema a una temperatura màxima al voltant de 3500 °C. En comparació, la soldadura amb arc elèctric produeix alta energia sobre un àrea més petita, el que genera temperatures locals de 5500 a 6600 °C. Per raons metal·lúrgiques, és convenient fondre metalls amb el mínim d'energia i en general es prefereixen les densitats calorífiques altes.

La densitat d'energia es calcula com la potència que entra a la superfície dividida per l'àrea superficial corresponent:

$$PD = \frac{P}{A}$$

On:

$PD$  = Densitat d'energia, en W/mm<sup>2</sup>;

$P$  = Potència que entra a la superfície, en W;

$A$  = Àrea superficial per la que entra energia, en mm<sup>2</sup>.

La qüestió és més complicada del que indica l'equació anterior. Una dificultat és que la font d'energia (per exemple, l'arc elèctric) es mou en molts processos de soldadura, el que produeix un escalfament abans de l'operació i un escalfament després d'ella. Un altra complicació és que la densitat d'energia no és uniforme per tota la superfície afectada; es distribueix com una funció de l'àrea.

Metall	Temperatura de fusió °K
Aliatges d'alumini	(930)
Ferro fos	(1530)
Magnesi	(940)
Níquel	(1720)
Titani	(2070)
<b>Coure i aliatges</b>	
Pur	(1350)
Llautó	(1160)
Bronze	(1120)
Inconel	(1660)
<b>Acers</b>	
Al baix carboni	(1760)
Al mig carboni	(1700)
A l'alt carboni	(1650)
Aliatge baix	(1700)
<b>Acers inoxidables</b>	
Austenític	(1670)
Martensític	(1700)

Taula 3.24 Temperatures de fusió sobre l'escala de Temperatura absoluta de metalls seleccionats



La quantitat de calor requerida per a fondre un cert volum de metall és la suma de 1) la calor per a elevar la temperatura del metall sòlid al seu punt de fusió, la qual depèn de la calor específica volumètrica del metall i 2) la calor per a transformar el metall de la fase sòlida a líquida en el punt de fusió, el qual depèn de la temperatura de fusió del metall. Per a una aproximació raonable, aquesta quantitat de temperatura pot estimar-se mitjançant

$$U_m = KT_m^2$$

On:

$U_m$  = l'energia unitària per a fondre, la quantitat de calor requerida per a fondre una unitat de volum de metall, començant a temperatura ambient, en J/mm<sup>3</sup>;

$T_m$  = punt de fusió del metall en una escala de temperatura absoluta, (K);  $K = 3.33 \times 10^{-6}$  quan s'usa l'escala Kelvin. Les temperatures de fusió absoluta per als metalls seleccionats es presenten en la taula de la pàgina anterior.

No tota l'energia que ingressa s'usa per a fondre el metall soldat. Hi ha dos mecanismes de transferència de calor en les parts que es solden i ambdós redueixen la quantitat de calor disponible per al procés de soldadura. El primer mecanisme és la transferència de calor entre la font de calor i la superfície de treball. Aquest procés té certa eficiència, de transferència de calor  $f_1$  definida com la raó de la calor real que rep la peça de treball per la calor total que genera la font. El segon mecanisme implica la conducció de la calor lluny de l'àrea de soldadura per a dissipar-se a través del metall de treball, pel que només una porció de la calor transferida a la superfície està disponible per a fusió. Aquesta eficiència de fusió  $f_2$  és la proporció de la calor que rep la superfície de treball que pot usar-se per a fusió. L'efecte combinat d'aquestes dues eficiències redueix l'energia calorífica disponible per a soldadura de la manera següent:

$$H_w = f_1 f_2 H$$

On:

$H_w$  = calor net disponible per a soldadura, en J;

$f_1$  = eficiència de transferència de calor;

$f_2$  = eficiència de fusió;

$H$  = calor total generat pel procés de soldadura, en J.

És convenient separar els conceptes per a  $f_1$  i  $f_2$ , tot i que actuen junts durant el procés de soldadura. L'eficiència de transferència de calor  $f_1$  es determina en gran part pel procés de soldadura i la capacitat de convertir la font d'energia (per exemple, energia elèctrica) en una calor utilitzable en la superfície de treball. Referent a això, els processos de soldadura amb oxigen i gas combustible són relativament poc eficients, mentre que els processos de soldadura amb arc elèctric són bastant eficients.

L'eficiència de fusió  $f_2$  depèn del procés de soldadura, però també influeixen en ella les propietats tèrmiques del metall, la configuració de la unió i el grossor de la peça. Els metalls amb alta conductivitat tèrmica, com l'alumini i el coure. Representen un problema

per a la soldadura, a causa de la ràpida dissipació de la calor en el moment de fer contacte, amb l'àrea de treball. El problema augmenta amb les fonts calorífiques per a soldadura que posseeixen baixes densitats d'energia (per exemple, la soldadura amb oxigen i gas combustible), degut al fet que al ingressar la calor s'estén sobre un àrea més gran, el que facilita la conducció dintre de la peça. En general, una font de calor per a soldadura d'alta intensitat combinada amb un material de treball de baixa conductivitat produeix una alta eficiència de fusió.

Ara podem escriure una equació d'equilibri entre l'ingrés d'energia i l'energia necessària per a soldar:

$$H_w = U_m V$$

On:

$H_w$  = energia calorífica neta transmesa per a l'operació, en J;

$U_m$  = energia unitària requerida per a fondre el metall, en J/mm<sup>3</sup>;

$V$  = volum de metall fos, en mm<sup>3</sup>.

La majoria de les operacions de soldadura són processos de velocitat; això és, l'energia calorífica neta  $H_w$  es proporciona a certa velocitat i la gota de soldadura es forma a certa velocitat de viatge. Per exemple, això és característic de la majoria de les operacions de soldadura amb arc elèctric i moltes de les activitats de soldadura amb oxigeno i gas combustible. Per tant, és convenient expressar l'equació anterior en forma d'una equació d'equilibri de velocitat:

$$HR_w = U_m WVR$$

On:

$HR_w$  = velocitat d'energia calorífica proporcionada per a l'operació, en W;

$WVR$  = raó de volum de metall soldat, en mm<sup>3</sup>/seg.

En la soldadura d'una gota contínua, la rapidesa volumètrica del metall soldat és el producte d'àrea de soldadura  $A_w$  i la velocitat de viatge  $v$ . Substituint aquests termes a l'equació anterior, l'equació d'equilibri de la rapidesa pot expressar-se com:

$$HR_w = f_1 f_2 HR = U_m A_w v$$

On:

$f_1$  i  $f_2$  són les eficiències de transferència de calor i de fusió;

$HR$  = velocitat d'ingrés d'energia generada per la font d'energia per a soldadura, en W;

$A_w$  = àrea de la secció transversal de la soldadura, en mm<sup>2</sup>;

$v$  = velocitat de viatge de l'operació de soldadura, en mm/seg.

### 3.3.4.2.3 Característiques d'una junta soldada per fusió

La majoria de les unions de soldadura considerades anteriorment són fusions soldades com s'il·lustra en la secció transversal de la figura de sota, una junta soldada per fusió comuna a la qual s'ha agregat un metall d'aportació, consta de diverses zones: 1) zona de fusió, 2) interfase de soldadura, 3) zona afectada per la calor i 4) zona de metall base no afectada.

La zona de fusió consisteix en una barreja de metall d'aportació i de metall base que s'ha fos per complet. Aquesta zona es caracteritza per un alt grau d'homogeneïtat entre els metalls components que s'han fos durant la soldadura. El motiu principal pel qual es barregen aquests components és la convecció que se suscita en el pou de soldadura fosa. La solidificació en la zona de fusió s'assembla a un procés de fosa. En la soldadura el motlle es forma per mitjà de les vores o superfícies no foses dels components que s'estan soldant. La diferència significativa entre la solidificació en fosa i la soldadura és que en aquesta última ocorre un creixement de gra epitaxial. S'ha de recordar que durant la fosa es formen grans metàl·lics a partir de la fusió, mitjançant la enucleació de partícules sòlides en la paret de fusió, seguida pel creixement del gra. En contrast, en el procés de soldadura s'evita l'etapa de nucleació a través del mecanisme de creixement de gra epitaxial, en el qual els àtoms del pou fos es solidifiquen sobre els llocs reticulars preexistents de la base metàl·lica sòlida adjacent. En conseqüència, l'estructura del gra en l'àrea de fusió prop de la zona afectada per calor tendeix a imitar l'orientació cristal·logràfica de la zona afectada per calor circumdant. Més cap al centre de la zona de fusió es desenvolupa una orientació preferencial, en la qual els grans estan aproximadament perpendiculars als límits d'interfase de la soldadura. L'estructura resultant en la zona de fusió solidificada tendeix a presentar grans columnars bastos, com ho mostra la figura de baix. L'estructura del gra depèn de diversos factors que inclouen el procés de soldadura, els metalls que es solden (per exemple, metalls idèntics contra metalls diferents), si s'utilitza un metall d'aportació i la velocitat d'alimentació a la que s'obté la soldadura.

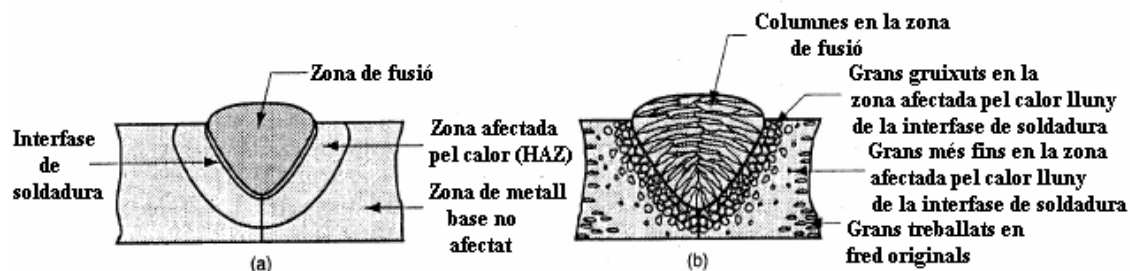


Fig 3.114 Secció transversal d'una junta soldada per fusió comú.

La segona zona en la unió soldada és la interfase de soldadura, un estret límit que separa la zona de fusió de la zona afectada per la calor. La interfase consta d'una banda completa i prima de metall base fos o parcialment fos durant el procés de fusió (el fos es localitza dintre dels grans), el qual s'ha solidificat immediatament després, abans de barrejar-se amb el metall en la zona de fusió. Per tant, la seva composició química és idèntica a la del metall base.

La tercera zona en la soldadura per fusió comuna és la zona afectada per la calor (en anglès HAZ). En aquesta zona, el metall ha experimentat temperatures menors al seu punt de fusió encara que prou altes per a produir canvis micro estructurals en el metall sòlid.

La composició química en la zona afectada per la calor és igual a la del metall base, però aquesta zona ha estat tractada amb calor a causa de les temperatures de soldadura, pel que s'han alterat les seves propietats i estructura. La quantitat de dany metal·lúrgic en l'HAZ depèn de factors com la quantitat de calor que ha ingressat i la màxima temperatura arribada a, la distància de la zona de fusió, l'interval de temps al que ha estat subjecte el metall a altes temperatures, la velocitat de refredament i les propietats tèrmiques del metall. L'efecte sobre les propietats mecàniques en la zona afectada per la calor en general és negatiu i en aquesta regió amb freqüència ocorren falles en la junta soldada.

Conforme augmenta la distància de la zona de fusió, s'arriba per fi la zona de metall base no afectada, en la qual no ha ocorregut un canvi metal·lúrgic. No obstant això, és probable que el metall base que envolta l'HAZ presenti un estat d'alta tensió residual, produït per la contracció en la zona de fusió.

### 3.3.4.3 Processos de soldadura

Els processos de soldadura es divideixen en dues categories principals: 1) soldadura per fusió, en la qual s'obté una fusió fonent les dues superfícies que es van a unir, i en alguns casos afegint un metall d'aportació a la unió; i 2) soldadura d'estat sòlid, en la qual s'usa calor o pressió o ambdues per a obtenir la fusió, però els metalls base no es fonen ni s'agrega un metall d'aportació.

La soldadura per fusió és la categoria més important i inclou: 1) la soldadura amb arc elèctric, 2) la soldadura per resistència, 3) la soldadura amb oxigen i gas combustible i 4) altres processos de soldadura per fusió (els quals no poden classificar-se en algun dels primers tres tipus). Els processos de soldadura per fusió s'analitzen en els quatre apartats següents, que cobreixen les operacions de soldadura d'estat sòlid.

#### 3.3.4.3.1 Soldadura amb arc elèctric

La soldadura amb arc elèctric, SAC (arc welding en anglès, AW), és un procés de soldadura en el que la unió de les parts s'obté per fusió mitjançant el calor d'un arc elèctric entre un elèctrode i el material de treball.

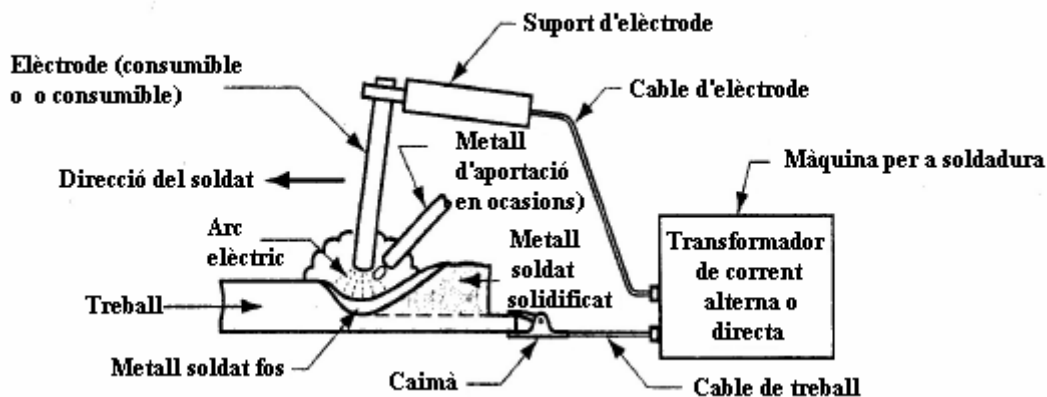


Fig 3.115 Configuració bàsica i circuit elèctric d'un procés de soldadura amb arc elèctric.

Un procés de AW general es mostra en la figura anterior. Un arc elèctric és una descàrrega de corrent elèctric a través d'una separació en un circuit. Se sosté per la presència d'una columna de gas tèrmicament ionitzada (denominada plasma) a través de la qual flueix el corrent. En un procés de AW, l'arc elèctric s'inicia al acostar l'elèctrode a la peça de treball, després del contacte l'elèctrode se separa ràpidament de la peça a una distància curta. L'energia elèctrica de l'arc elèctric així format produeix temperatures de 5500 °C o majors, que són prou calentes per a fondre qualsevol metall. Es forma un pou de metall fos, que consisteix en metall(s) base i metall d'aportació (si s'usa un), prop de la punta de l'elèctrode. En la majoria dels processos de soldadura amb arc elèctric, s'agrega un metall d'aportació durant l'operació per a augmentar el volum i enfortir la unió soldada. Conforme l'elèctrode es mou al llarg de la unió, el pou de metall fos es solidifica immediatament.

El moviment de l'elèctrode s'aconsegueix ja sigui mitjançant una persona que solda (soldadura manual) o per mitjans mecànics (soldadura amb màquina, soldadura automàtica o soldadura robòtica). Un aspecte problemàtic de la soldadura manual amb arc elèctric és que la qualitat de la unió fosa depèn de l'habilitat i ètica de treball del soldador. La productivitat també és un aspecte de la soldadura amb arc elèctric. Amb freqüència s'amida la productivitat com temps d'arc elèctric, que és la proporció de les hores treballades en les quals s'obté una soldadura amb arc elèctric.

Això és:

$$\text{Duració de l'arc} = \frac{\text{Temps en que l'arc elèctric està encès}}{\text{Hores treballades}}$$

Aquesta definició de productivitat pot aplicar-se a un soldador individual o a una estació de treball mecanitzada. Per a la soldadura manual, el temps d'arc elèctric és en general d'un 20%. Es requereixen períodes de descans freqüents perquè el soldador superi la fatiga en la soldadura manual amb arc elèctric, la qual estableix condicions de tensió en la coordinació manual-visual. La durada de l'arc elèctric augmenta al voltant del 50% (mes o menys, depenent de l'operació) per a la soldadura amb màquina, automàtica i robòtica.

## Tecnologia general de la soldadura amb arc elèctric

Abans de descriure els processos individuals de soldadura amb arc elèctric, és convenient examinar alguns dels aspectes tècnics que s'apliquen a aquests processos.

### Elèctrodes

Els elèctrodes que s'usen en els processos de AW es classifiquen com consumibles i no consumibles.

### Els elèctrodes consumibles

Contenen el metall d'aportació en la soldadura amb arc elèctric; estan disponibles en dues formes principals: varetes (també anomenats bastons) i filferros. Les varetes per a soldadura normalment tenen una longitud de 225 a 450 mm i un diàmetre de 9.5 mm o menys. El problema amb les varetes de soldadura consumibles, almenys en les operacions de producció, és que han de canviar-se en forma periòdica, reduint el temps d'arc elèctric del soldador. El filferro per a soldadura consumible té l'avantatge que pot alimentar-se en forma contínua al pou de soldadura des de bobines que contenen filferros en grans quantitats, amb això s'eviten les interrupcions freqüents que ocorren quan s'usen les varetes per a soldadura. Tant en forma de vareta com de filferro, l'arc elèctric consumeix l'elèctrode durant el procés de soldadura i aquest s'afegeix a la unió fosa com metall de farciment.

Els elèctrodes de vareta es classifiquen sobre la base de les propietats mecàniques del metall dipositat, tipus de recobriment, posicions en les quals es pot emprar l'elèctrode i tipus de corrent i polaritat a emprar. El sistema de classificació emprat per a elèctrodes

recoberts segueix el model emprat per la AWS. D'acord amb aquest sistema, la classificació d'un elèctrode es designa amb la lletra "E" i amb quatre o cinc dígits. La lletra "E" significa elèctrode, els dos o tres primers dígits indiquen la resistència a la tracció del metall dipositat en milers de lliures per polzada quadrada, el tercer o quart dígit indica les posicions en les quals ha d'emprar-se l'elèctrode i l'últim dígit es relaciona amb les característiques del recobriment, l'escòria, amb el tipus de corrent i a polaritat a emprar.

D'acord amb això, els diferents dígits en els elèctrodes amb classificació:

### **E 6 0 1 0**

Tenen el següent significat:

**E** = Elèctrode.

**60** = Resistència mínima a la tensió de 60.000 lb/pulg<sup>2</sup>

**1** = Per a ser utilitzat en totes les posicions

E XX**1**X = Qualsevol posició

E XX**2**X = Horitzontal i de terra solament

E XX**3**X = De terra solament

E XX**4**X = De terra, sobre cap, horitzontal i vertical cap a baix.

**0** = És un elèctrode amb recobriment d'alt contingut de cel·lulosa i amb base de sodi i que es deu utilitzar amb corrent directa i polaritat invertida.

En algunes classificacions d'elèctrodes existeixen addicionalment dos dígits (6) i (7) **E-XXXX-X<sub>6</sub>X<sub>7</sub>** que identifiquen el tipus d'element que resulta després de la soldadura, exemple:

### **E – 7018 – Mo**

**E** = Elèctrode

**70** = Resistència mínima a la tensió de 70.000 lb/pulg<sup>2</sup>

**1** = Qualsevol posició

**8** = AC o DCEP Corrent Alterna o Corrent Directa amb elèctrode positiu “+”

**Mo** = Molibdè en el material després de dipositat



CLASIF.	CORRIENTE	ARCO	Penetración	Fundente y Escoria
EXXX0	DCEP	Penetrante	Profunda	Celuloso - Sodio (0 - 10% de polvo de Hierro)
EXXX1	AC o DCEP	Penetrante	Profunda	Celuloso - Potasio (0% de Polvo de Hierro)
EXXX2	AC o DCEN	Mediano	Mediana	Titanio - Sodio (0 - 10 % de Polvo de Hierro)
EXXX3	AC o DCEN o DCEP	Suave	Ligera	Titanio - Potasio (0 - 10% de Polvo de Hierro)
EXXX4	AC o DCEN o DCEP	Suave	Ligera	Titanio - Polvo de Hierro (25 - 40% de Polvo de Hierro)
EXXX5	DCEP	Mediano	Mediana	Bajo Hidrogeno - Sodio (0% de Polvo de Hierro)
EXXX6	AC o DCEP	Mediano	Mediana	Bajo Hidrogeno - Potasio (0% de Polvo de Hierro)
EXXX8	AC o DCEP	Mediano	Mediana	Bajo Hidrogeno - Polvo de Hierro (25 - 40% de Polvo de Hierro)
EXX20	AC o DCEN	Mediano	Mediana	Oxido de Hierro - Sodio (0% de Polvo de Hierro)
EXX22	AC o DCEN o DCEP	Mediano	Mediana	Oxido de Hierro - Sodio (0% de Polvo de Hierro)
EXX24	AC o DCEN o DCEP	Suave	Ligera	Titanio - Polvo de Hierro (50% de Polvo de Hierro)
EXX27	AC o DCEN o DCEP	Mediano	Mediana	Oxido de Hierro - Polvo de Hierro (50% de polvo de Hierro)
EXX28	AC o DCEP	Mediano	Mediana	Bajo Hidrogeno - Polvo de Hierro (50% de polvo de Hierro)
EXX48	AC o DCEP	Mediano	Mediana	Bajo Hidrogeno - Polvo de Hierro (25 - 40% de Polvo de Hierro)
DCEP - Corriente Directa Electrodo Positivo DCEN - Corriente Directa Electrodo Negativo				
Nota: El porcentaje del polvo de Hierro esta calculado en base al peso del fundente				

Taula 3.25 Classificació dels elèctrodes

### Consideracions per a la selecció d'elèctrodes

La selecció d'elèctrodes per a una aplicació específica, en termes generals, es basa en els següents factors:

- Propietats mecàniques del metall base a soldar.
- Composició química del metall base a soldar.
- Espessor i forma del metall base a soldar.
- Especificacions i condicions de servei de l'estructura a fabricar.
- Tractament tèrmic que s'aplicarà a l'estructura a fabricar.
- Posicions de soldadura possibles durant la fabricació.
- Tipus de corrent de soldadura i polaritat a emprar.
- Disseny de la unió.
- Eficiència en la producció i condicions de treball.
- En el cas particular dels acers d'alta resistència o els inoxidable, la selecció d'elèctrodes generalment està limitada a un o dos elèctrodes dissenyats específicament per a donar una composició química determinada en el metall dipositat.
- En el cas dels acers al carboni i de baix aliatge, la selecció d'elèctrodes ha de basar-se, a més de la composició química i resistència mecànica del metall de soldadura, en altres característiques dels elèctrodes. Això es deu al fet que per a acers al carboni i de baix aliatge, hi ha diversos tipus diferents d'elèctrodes que poden proporcionar la mateixa composició química en el metall de soldadura. En aquest cas, l'elèctrode es selecciona per a obtenir la qualitat desitjada al més baix cost, això és, l'elèctrode a

triar és aquell que permet la més alta velocitat de soldadura per a cada unió en particular.

### Elèctrodes per a "Solidificació ràpida"

Són aquells dissenyats per a dipositar metall de soldadura que solidifiqui ràpidament després d'haver estat fos per l'arc. Aquests elèctrodes serveixen per a soldar en posicions verticals i sobre cap (a més de la plana i l'horitzontal). Elèctrodes pertanyents a aquesta classificació: **E-6010**, **E-6011**, **E-7010-A1**, **E-7010-G**, les seves principals característiques són:

- Alta penetració.
- Són de "baix dipòsit".
- Deixen poca escòria.
- Produeixen molt guspireig.
- S'utilitzen amb corrent relativament baix.
- Aplicacions principals: propòsits generals de fabricació i manteniment, per a posicions vertical i sobre cap, soldadura en canonades, soldadura sobre superfícies galvanitzades o no molt netes, unions que requereixen alta penetració, soldadura de làmines primes en juntes de marge, cantonada i a tope.

### Elèctrodes per a "Omplert ràpid"

Aquests elèctrodes estan dissenyats per a proporcionar quantitats relativament altes de metall fos i són adequats per a realitzar soldadura de "alta velocitat". El metall de soldadura solidifica amb relativa lentitud i per aquesta raó, aquests elèctrodes no són adequats per a realitzar soldadures fora de posició. Elèctrodes pertanyents a aquesta classificació: **E-7024**, **E-6027**, **E-7020-A1**, les seves principals característiques són:

- Poca penetració.
- Proporcionen "alt dipòsit".
- Permeten velocitats de soldadura relativament elevades.
- Produeixen molta escòria.
- Produeixen molt poc guspireig.
- Aplicacions principals: soldadura de planxes de 5 mm o major espessor, soldadures de filet en posicions horitzontal i plana i soldadures de ranura profunda en unions a tope, soldadures d'acer de mig contingut de carboni i amb tendència a l'esquerdament (quan no es disposa d'elèctrodes de baix hidrogen).

### Elèctrodes per a “Omplert - Solidificació”

Aquests elèctrodes estan dissenyats per a proporcionar característiques intermèdies entre els elèctrodes per a solidificació i omplert i proporcionar així relacions de dipòsit i penetració "mitjanes". Elèctrodes pertanyents a aquesta classificació: **E-6012, E-6013, E-6014**, les seves característiques principals són:

- De penetració i omplert mitjans.
- Produeixen quantitats mitjanes de guspireig i escòria.
- Principals aplicacions: soldadures de filet en posició vertical descendent, propòsits generals, soldadures curtes o irregulars que canvien de posició o direcció durant l'aplicació, soldadures de filet en làmines primes.

### Elèctrodes de baix hidrogen

Aquests elèctrodes estan dissenyats per a produir soldadures d'alta qualitat en aplicacions en les quals el metall base té tendència a l'esquerdament, els espessors a soldar són relativament grans (majors a 19 mm.) o quan el metall base té un contingut d'aliants lleugerament major al dels acers dolços. Els elèctrodes de baix hidrogen estan disponibles ja sigui amb les característiques d'omplert ràpid o solidificació ràpida. Elèctrodes pertanyents a aquesta classificació: **E-7018 i E-7028**.

### **Els elèctrodes no consumibles**

Estan fets de tungstè (o algunes vegades de carboni), els quals resisteixen la fusió mitjançant l'arc elèctric. A pesar del seu nom, un elèctrode no consumible es desgasta gradualment durant el procés de soldadura (la vaporització és el mecanisme principal) i ocorre en forma similar al desgast gradual d'una eina de tall en una operació de mecanitzat. Per als processos de AW que utilitzen elèctrodes no consumibles, qualsevol metall de farciment usat en l'operació ha de proporcionar-se mitjançant un filferro separat que s'alimenta dintre del pou de soldadura.

### **Protecció de l'arc elèctric**

En la soldadura amb arc elèctric, les altes temperatures provoquen que els metalls que s'uneixen reaccionin intensament a l'oxigeno, nitrogen i hidrogen de l'aire. Les propietats mecàniques de la unió soldada poden degradar-se seriosament per aquestes reaccions. Per a protegir l'operació de soldadura d'aquest resultat no desitjat, gairebé tots els processos de soldadura amb arc elèctric proporcionen algun mitjà per a protegir l'arc de l'aire en l'ambient. Això s'assoleix cobrint la punta de l'elèctrode, l'arc elèctric i el pou de soldadura fosa amb un mantell de gas o fonent o ambdós, el que inhibeix l'exposició del metall soldat a l'aire.

Els gasos de protecció comuns inclouen l'argó i l'heli, doncs ambdós són inerts. En la soldadura de metalls ferrosos amb certs processos de AW s'usen oxigeno i diòxid de carboni, en general en combinació amb argó o heli, per a produir una atmosfera oxidant o per a controlar la forma de la soldadura.

Un fonent és una substància usada per a evitar la formació d'òxids i altres contaminants no desitjats o per a dissoldre'ls i facilitar el seu desallotjament. Durant la soldadura, el fonent es fon i es converteix en una escòria líquida, que cobreix l'operació i protegeix el metall de soldadura fos. L'escòria s'endureix després del refredament i ha de remoure's amb cisell o raspall. En general un fonent està format per a complir amb diverses funcions addicionals que inclouen: 1) proporcionar una atmosfera protectora per a la soldadura, 2) estabilitzar l'arc elèctric i 3) reduir les esquitxades.

El mètode d'aplicació del fonent és diferent per a cada procés. Entre les tècniques d'incorporació es troben: 1) buidant el fonent granular en l'operació de soldadura, 2) usant un elèctrode de vareta cobert amb material fonent, en el qual el recobriment es fon durant la soldadura per a cobrir l'operació i 3) usant elèctrodes tubulars que contenen fonent en el nucli, el qual s'allibera conforme es consumeix l'elèctrode. Aquestes tècniques s'analitzen millor en les descripcions particulars dels processos de AW.

### Font d'energia en la soldadura amb arc elèctric

En la soldadura amb arc elèctric s'usen tant el corrent directe (DC) com el corrent altern (AC). Les màquines de AC són menys costoses d'adquirir i operar, però en general estan limitades a la soldadura de metalls ferrosos. L'equip DC pot usar-se en tots els metalls amb bons resultats i generalment destaca per un millor control de l'arc elèctric.

En tots els processos de soldadura amb arc elèctric, l'energia per a conduir l'operació és el producte del corrent  $I$  que passa per l'arc elèctric i el voltatge  $E$  a través d'aquest. Aquesta energia es converteix en calor, però no tota la calor es transfereix a la superfície del treball. La convecció, la conducció, la radiació i les esquitxades representen pèrdues que redueixen la quantitat de calor utilitzable.

L'efecte de les pèrdues s'expressa mitjançant l'eficiència de transferència de calor  $f_1$ . Alguns valors representatius de  $f_1$  per a diversos processos de soldadura amb arc elèctric es proporcionen en la taula següent

Processos de soldadura amb arc elèctric	Eficiència de transferència de calor $f_1$ típica
Soldadura metàl·lica amb arc protegit	0.9
Soldadura metàl·lica amb arc elèctric i gas	0.9
Soldadura amb nucli de fonent	0.9
Soldadura amb arc submergit	0.95
Soldadura de tungstè amb arc elèctric i gas	0.7

Taula 3.26 Eficiències de transferència de calor per a varis processos de soldadura amb arc elèctric.

L'eficiència de transferència de calor és major per als processos de soldadura amb arc elèctric que usen elèctrodes consumibles, degut al fet que gran part de la calor consumida per a fondre l'elèctrode es transfereix subseqüentment al treball com metall fos. El procés amb el valor  $f_1$  més baix en la taula anterior és la soldadura de tungstè amb arc elèctric i gas, que usa un elèctrode no consumible. L'eficiència de fusió  $f_2$  redueix més la calor disponible per a la soldadura. L'equilibri d'energia resultant en la soldadura amb arc elèctric es defineix mitjançant:

$$HR_w = f_1 f_2 IE = U_m A_w v$$

On:

$E$  = voltatge, en [V];

$I$  = corrent, en [A].

I els altres termes es defineixen igual que en les fórmules que hem vist anteriorment.

### Processos de soldadura amb arc elèctric que usen elèctrodes consumibles

En aquest apartat s'analitzaran diversos processos importants de soldadura amb arc elèctric que utilitzen elèctrodes consumibles.

#### Soldadura metàl·lica amb arc protegit

La soldadura metàl·lica amb arc protegit (en anglès shielded metal arc welding, SMAW), és un procés de soldadura amb arc elèctric que usa un elèctrode consumible i consisteix en una vareta de metall d'aportació recoberta amb materials químics que proporcionen un fonent i protecció. El procés s'il·lustra en les figures següents.



Fig 3.116 Soldadura metàl·lica amb arc protegit (soldadura de vareta) executada per un soldador

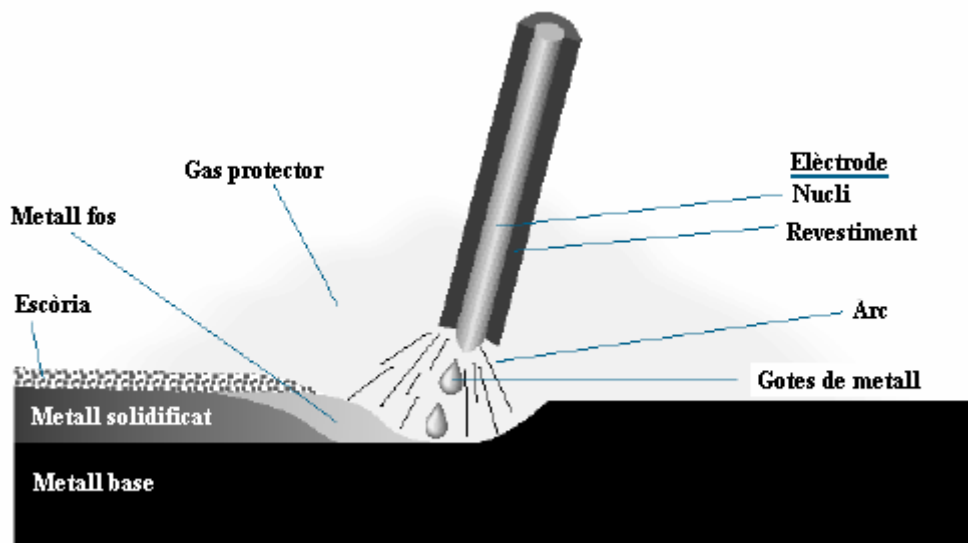


Fig 3.117 Soldadura metàl·lica amb arc protegit (SMAW)

En ocasions, el procés es denomina soldadura de vareta. La vareta de soldadura normalment té una longitud entre de 230 a 460 mm i un diàmetre de 2.5 a 9.5 mm. El metall d'aportació usat en la vareta ha de ser compatible amb el metall que es va a soldar i, per tant, la composició ha de ser molt semblant a la del metall base. El recobriment consisteix en cel·lulosa polvoritzada (pólvores de cotó i fusta) barrejats amb òxids, carbonats i altres ingredients integrats mitjançant un aglutinant de silicat. En ocasions s'inclouen en el recobriment pólvores metàl·liques per a augmentar la quantitat de metall d'aportació i agregar elements d'aliatge. La calor del procés de soldadura fon el recobriment i proporciona una atmosfera protectora i escòria per a l'operació de soldadura. També ajuda a estabilitzar l'arc elèctric i regula la velocitat a la qual es fon l'elèctrode.

Durant l'operació, l'extrem de metall descobert de la vareta de soldadura (que està en l'altra punta de la soldadura) es subjecta en un suport d'elèctrodes connectat a la font d'energia. El suport té una manilla aïllada perquè ho prengui i manipuli el soldador. Els corrents que s'usen regularment en la SMAW varien entre 30 i 300 A i 15 a 45 V. La selecció dels paràmetres d'energia adequats depèn dels metalls que es van a soldar, del tipus i longitud de l'elèctrode, així com de la profunditat de penetració de la soldadura requerida.

En general, la soldadura metàl·lica amb arc protegit s'executa en forma manual i les seves aplicacions comunes inclouen la construcció, instal·lació de canonades, estructures de maquinària, construcció d'embarcacions, botigues de manufactura i treballs de reparació. Es prefereix sobre la soldadura amb oxigen i gas combustible per a seccions més gruixudes que 4.8 mm a causa de la seva major densitat d'energia. L'equip és portàtil i de baix cost, el que converteix a la SMAW en el procés més versàtil i de major ús entre els processos de AW. Els metalls base inclouen els acers, els acers inoxidable, els ferros fosos i certs aliatges no ferrosos. No s'usa o s'empra rares vegades en alumini i els seus aliatges, igual que en els aliatges de coure i titani.

El desavantatge de la soldadura metàl·lica amb arc protegit com operació de producció prové de l'ús de varetes d'elèctrodes consumibles, perquè aquests han de canviar-se en forma periòdica a causa del desgast. Això redueix el temps d'arc elèctric en aquest procés de soldadura. Altra limitació és el nivell de corrent que pot usar-se, perquè la longitud de l'elèctrode varia durant l'operació i aquesta afecta l'escalfament de la resistència de l'elèctrode, els nivells de corrent han de mantenir-se dintre d'un rang segur o el recobriment es sobreescalfarà i fondrà prematurament quan es comenci a usar una nova vareta de soldadura. Alguns dels altres processos de soldadura amb arc elèctric superen les limitacions de la longitud de la vareta de soldadura en aquest procés, usant un elèctrode de filferro que s'alimenta en forma contínua.

### **Soldadura metàl·lica amb arc elèctric i gas o Soldadura MIG (metal inert gas)**

És també coneguda com Gas Arc Metall o MAG. La soldadura metàl·lica amb arc elèctric i gas: SMAEG (en anglès gas metal arc welding, GMAW) és un procés en el qual l'elèctrode és un filferro metàl·lic nu consumible i la protecció es proporciona inundant l'arc elèctric amb un gas. El filferro nu s'alimenta en forma contínua i automàtica des d'una bobina a través de la pistola de soldadura, com s'il·lustra en les figures següents. En la GMAW s'usen diàmetres de filferro que van des de 0.8 a 6.4 mm, la grandària depèn del grossor de les parts que es volen unir i la velocitat de deposició desitjada.



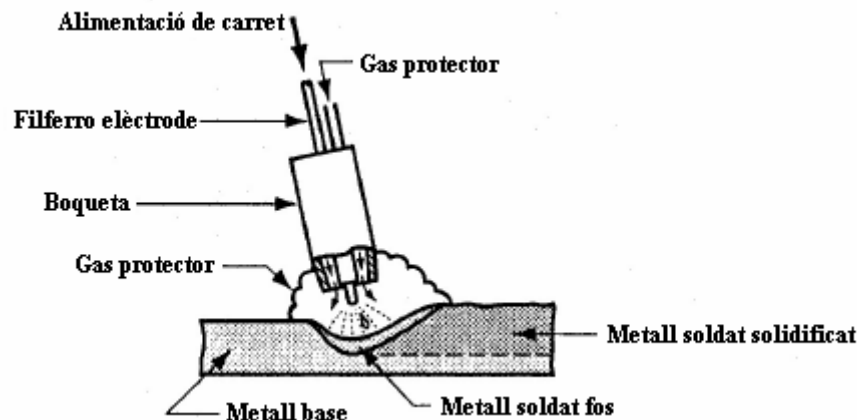


Fig 3.118 Soldadura metàl·lica amb arc elèctric i gas (GMAW).

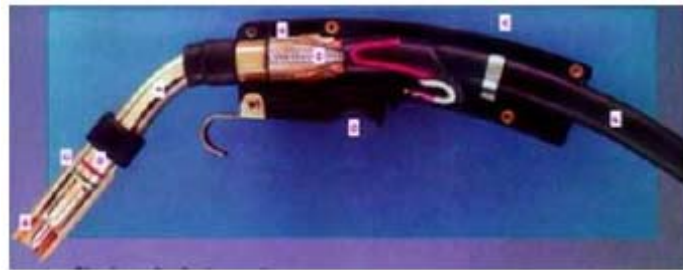


Fig 3.119 Pistola per a soldadura metàl·lica amb arc i gas.



Fig 3.120 Operació realitzada mitjançant el procés MIG.

Per a protecció s'usen gasos inerts com el argó i l'heli i també gasos actius com el biòxid de carboni. L'elecció dels gasos (i les seves barreges) depenen del material que s'ha de soldar, igual que d'altres factors. S'usen gasos inerts per a soldar aliatges d'alumini i acers inoxidable, mentre que normalment s'usa  $\text{CO}_2$  per a soldar acers al baix i mitjà carboni. La combinació del filferro d'elèctrode nu i els gasos protectors eliminen el recobriment d'escòria en la gota de soldadura i, per tant, eviten la necessitat de l'esmerilat i neteja manual de l'escòria. Per tal raó, el procés de GMAW i gas és ideal per a fer múltiples passades de soldadura en la mateixa unió.

Els diferents metalls en els quals s'usa la soldadura GMAW i les pròpies variacions del procés han donat origen a diferents noms. La primera vegada que es va introduir el procés a finals dels anys quaranta, es va aplicar a la soldadura d'alumini usant un gas inert (argó)



per a protecció de l'arc elèctric. Aquest procés va rebre el nom de soldadura metàl·lica amb gas inert, SMGI (en anglès MIG welding, metal inert gas welding). Quan aquest procés de soldadura es va aplicar a l'acer, es va trobar que els gasos inerts eren costosos i es va usar  $\text{CO}_2$  com substitut. Per tant, es va aplicar el terme de soldadura

amb  $\text{CO}_2$ . Alguns refinaments en el procés per a la soldadura de l'acer van conduir, a l'ús de barreges de gasos, incloent diòxid de carboni i argó, i fins i tot oxigen i argó.

El procés MIG opera en DC (corrent continu) usualment amb el filferro com elèctrode positiu. Això és conegut com "Polaritat Negativa" (reverse polarity). La "Polaritat Positiva" (straight polarity) és rarament usada per la seva poca transferència de metall d'aportació des del filferro cap a la peça de treball. Els corrents de soldadura varien des d'uns 50 Ampers fins a 600 Ampers en molts casos en voltatges de 15V fins a 32V, un arc auto-estabilitzat és obtingut amb l'ús d'un sistema de font de poder de potencial constant (voltatge constant) i una alimentació constant del filferro.

Continus desenvolupaments al procés de soldadura MIG l'han convertit en un procés aplicable a tots els metalls comercialment importants com l'acer, alumini, acer inoxidable, coure i alguns altres. Materials per sobre de 0.76 mm d'espessor poden ser soldats en qualsevol posició, incloent de terra, vertical i sobre cap.

És molt simple escollir l'equip, el filferro o elèctrode, el gas de l'aplicació i les condicions òptimes per a produir soldadures d'alta qualitat a molt baix cost.

El procés bàsic MIG inclou tres tècniques molt distintes: Transferència per "Curt circuit", transferència "Globular" i la transferència d'"Arc Ruixat" (Spray Arc). Aquestes tècniques descriuen la manera en la qual el metall és transferit des del filferro fins a la soldadura fosa. En la transferència per curt circuit, també conegut com "Arc Curt", "Transferència espessa" i "Micro Wire", la transferència del metall ocorre quan un curt circuit elèctric és establert, això ocorre quan el metall en la punta del filferro fa contacte amb la soldadura fosa. En la transferència per ruixat (spray arc) diminutes gotes de metall fos anomenades "Moltens" són arrencades de la punta del filferro i projectades per la força electromagnètica cap a la soldadura fosa. En la transferència globular el procés ocorre quan les gotes del metall fos són prou grans per a caure per la influència de la força de gravetat. Els factors que determinen la manera que els moltens són transferits són el corrent de soldadura, el diàmetre del filferro, la distància de l'arc (voltatge), les característiques de la font de poder i el gas utilitzat en el procés.

La soldadura MIG és un procés versàtil, amb el qual es pot dipositar soldadura a un rang molt alt i en qualsevol posició. El procés és àmpliament usat en làmines d'acer de baix i mitjà calibre de fabricació i sobre estructures d'aliatge d'alumini particularment on existeix un alt requeriment de treball manual o treball de soldador.

Des de la seva aparició en el món de la soldadura, totes les agències de regulació i classificació dels metalls d'aportació van prendre molt en serio aquest procés i la creació del seu propi codi de classificació va ser indispensable, en el cas de la Societat Americana de Soldadura AWS, es van crear dos codis per separat, un per als aliatges de baix contingut de Carbó o també conegut com acer dolç i un per als aliatges d'alt contingut de Carbó o on la composició química final del material aportat fora canviada de forma dramàtica.

### Classificació AWS per als metalls d'aportació

Elèctrodes de baix aliatge d'acer per a soldadura d'arc protegit per gas

**ER<sub>1</sub> – XXX<sub>2</sub> S<sub>3</sub> – XXX<sub>4</sub>**

1. Les primeres dues lletres identifiquen com filferro o vareta despullada.
2. Els tres primers números indiquen la resistència a la tracció en milers de lliura/polz<sup>2</sup>.
3. La lletra intermitja indica que el tipus de filferro és sòlid.
4. Els últims tres dígitos indiquen la composició química del filferro.

El que determina l'execució correcta d'aquest procés és:

- La fluïdesa de la soldadura fosa.
- La forma del cordó de la soldadura i els seus marges.
- La guspira o esquitxada que genera (Spatter).

### Classificació AWS per als metalls d'aportació

Elèctrodes d'acer al carboni per a soldadura d'arc protegit per gas.

**ER<sub>1</sub> – XX<sub>2</sub> S<sub>3</sub> – X<sub>4</sub>**

1. Les primeres dues lletres identifiquen com filferro o vareta despullada.
2. Els dos primers números indiquen la resistència a la tracció en milers de lliura/polz<sup>2</sup>.
3. La lletra intermitja indica que el tipus de filferro és sòlid.
4. Composició química del filferro.

Un bon procediment de soldat està caracteritzat per la poca presència de porositat, bona fusió, i una terminació lliure d'esquerdes o trencaments.

La Porositat, és una de les causes més freqüentment citades d'una soldadura pobrament executada, és causada per l'excés d'oxigen de l'atmosfera, creada pel gas usat en el procés i qualsevol contaminació en el metall base, que, combinat amb el carbó en el metall soldat forma diminutes bombolles de monòxid de carboni (CO). Algunes d'aquestes bombolles de CO poden quedar atrapades en la soldadura fosa després que es refredi i es converteixen en porus millor coneguts com porositat.

### Control de la Porositat

Una suficient desoxidació del cordó de soldadura és necessària per a minimitzar la formació de monòxid de carboni CO i, per tant, la porositat. Per a assolir això, alguns fabricants han desenvolupat filferros que contenen elements amb els quals l'oxigeno es combina preferentment al carbó per a formar escòries inofensives. Aquests elements, anomenats desoxidants, són manganès (Mn), silici (Si), titani (Ti), alumini (Al), i zirconi (Zr).

Alumini, titani i zirconi són els desoxidants més poderosos, potser cinc vegades més efectius que el manganès i el silici, no obstant això aquests últims dos elements afecten de manera especial el procés i per això no són àmpliament utilitzats, les quantitats de manganès podrien variar des de 1.10% fins a 1.58% i en el cas del silici des d'un 0.52% fins a 0.87%.

### Influència del Gas i l'Arc de la Soldadura

L'ús d'Anhídrid Carbònic (CO<sub>2</sub>) causa més turbulències en la transferència del metall del filferro al metall base amb la tendència a crear cordons de soldadura més engruixats i un alt increment de les esquixades.

Les barreges de gasos amb bases d'Argó (Ar) proveeixen transferències de metalls més estables i uniformes, bona forma del cordó de soldadura i les esquixades són reduïdes al mínim, a més d'un rang més baix en la generació de fum.

### Equip per a la soldadura MIG

Generador de soldadura: Els generadors més adequats per a la soldadura pel procediment MIG són els rectificadors i els convertidors (aparells de corrent continu). El corrent continu amb polaritat inversa millora la fusió del fil, augmenta el poder de penetració, presenta una excel·lent acció de neteja i és la que permet obtenir millors resultats.

En la soldadura MIG, la calor es genera per la circulació de corrent a través de l'arc, que s'estableix entre l'extrem del fil elèctrode i la peça. La tensió de l'arc varia amb la longitud del mateix. Per a aconseguir una soldadura uniforme, tant la tensió com la longitud de l'arc han de mantenir-se constants. En principi, això podem assolir-lo de dues formes; (1) Alimentant el fil a la mateixa velocitat amb que aquest es va fonent; o (2), fonent el fil a la mateixa velocitat amb que es produeix l'alimentació.

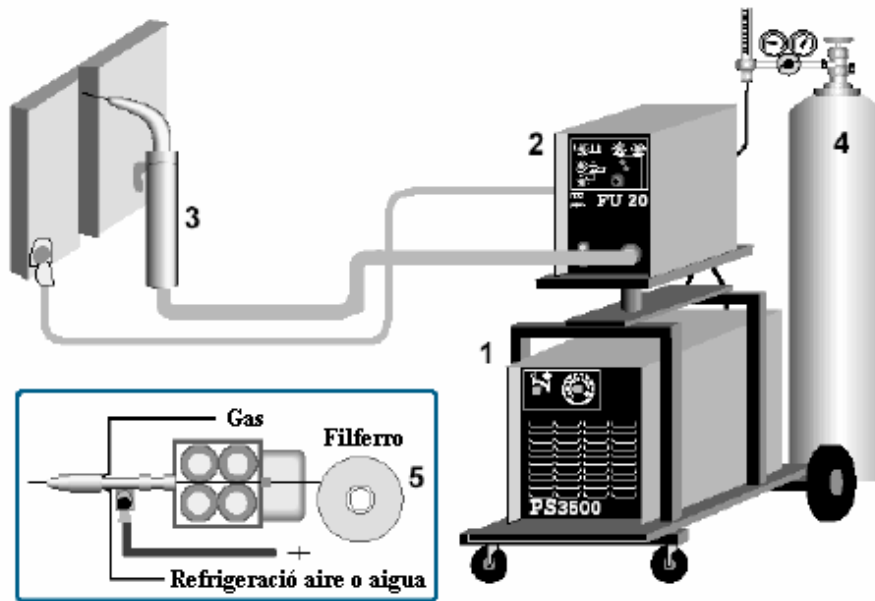


Fig 3.121 Diagrama esquemàtic de l'equip MIG.



Fig 3.122 Equip per a soldadura MIG

1. Una màquina soldadora.
2. Un alimentador que controla l'avanç del filferro a la velocitat requerida.
3. Una pistola de soldar per a dirigir directament el filferro a l'àrea de soldadura.
4. Un gas protector per a evitar la contaminació del bany de fusió.
5. Un rodet de filferro del tipus i diàmetre especificat.

### Beneficis del sistema MIG

1. No genera escòria.
2. Alta velocitat de deposició.
3. Alta eficiència de deposició.
4. Fàcil d'usar.
5. Mínima esquitxada.
6. Aplicable a alts rangs d'espessors.
7. Baixa generació de fums.
8. És econòmica.
9. La pistola i el cables de soldadura són lleugers fent més fàcil la seva manipulació.
10. És un dels més versàtils entre tots els sistemes de soldadura.
11. Alt rendiment.
12. Possibilitat d'automatització.



*Fig 3.123 Soldador executant el procés*

### **Soldadura amb arc submergit**

Dels mètodes de soldadura que empren elèctrode continu, el procés d'arc submergit desenvolupat simultàniament en EE.UU. i Rússia a mitjan de la dècada dels 30, és un dels més difosos universalment. La soldadura amb arc submergit SAS (en anglès submerged arc welding, SAW), és un procés que usa un elèctrode de filferro nu consumible continu, l'arc elèctric es protegeix mitjançant una cobertura de fonent granular. El filferro de l'elèctrode s'alimenta automàticament des d'un rotllo cap a dintre de l'arc elèctric. El fonent s'introdueix a la unió lleugerament endavant de l'arc de soldadura, mitjançant gravetat, des d'un tanc alimentador, com es mostra en la figura de sota.

El mantell de fonent granular cobreix per complet l'operació de soldadura amb arc elèctric, evitant espurnes, esquitxades i radiacions que són molt perilloses en altres processos de soldadura amb arc elèctric. Per tant, l'operador de la soldadura no necessita usar la molesta màscara protectora que es requereix en altres operacions (però les ulleres de seguretat i guants protectors són necessaris).

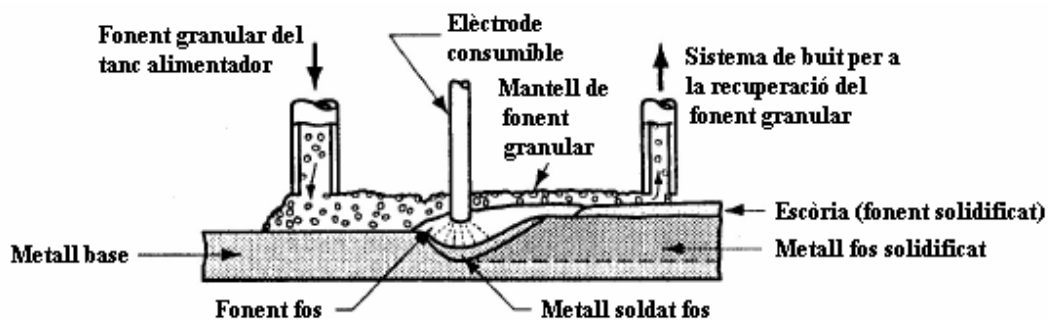


Fig 3.124 Soldadura amb arc submergit

La part del fonent més proper a l'arc es fon i es barreja amb el metall de soldadura fos, que després es solidifiquen en la part superior de la unió soldada i formen una escòria amb aspecte de vidre. L'escòria i els grans de fonent no fosos en la part superior proporcionen una bona protecció de l'atmosfera i un bon aïllament tèrmic per a l'àrea de soldadura.

### Principi de funcionament

El corrent elèctric es condueix entre l'elèctrode i la pileta fosa a través d'un plasma gasós immers en el fonent. La potència la subministra un generador, un transformador –rectificador o un transformador i es condueix al filferro (elèctrode) a través del tub de contacte, produint-se l'arc entre aquell i el metall base. La calor de l'arc fon l'elèctrode, el fonent i part del metall base, formant la pileta de soldadura que conforma la junta. En tots els equips d'aquest tipus existeix un mecanisme que tracciona el filferro i el condueix a través del tub de contacte i de la capa de fonent fins al metall base. Els filferros utilitzats són generalment acers de baix carboni i de composició química perfectament controlada; el filferro es troba usualment enrotllat en una bobina. El fonent es va dipositant davant de l'arc a mesura que avança la soldadura. Quan es solidifica, s'extreu l'excés per a utilitzar-lo novament i el material fos s'elimina mitjançant un picat. En els equips moderns existeix una aspiradora que absorbeix l'excés de fonent i l'envia novament a la tolva d'alimentació.

## Filferro per a l'elèctrode

El filferro per a soldadura per arc submergit s'empra en forma de bobines i està cobrejat; això evita l'oxidació superficial en el magatzematge i proporciona seguretat en el contacte elèctric; amb poca resistència entre el filferro de soldar i els contactes de coure a través dels quals es condueix el corrent. El diàmetre del fil utilitzat depèn fonamentalment de la intensitat de corrent de soldadura necessària i pot situar-se entre 5 mm de diàmetre, per a corrent de 150 A, a 10 mm de diàmetre, per a un corrent de 3000 A. La composició dels filferros per a soldadura per arc submergit depèn del material que es solda, ja que els elements aliats s'afegeixen generalment al filferro i no al fonent.

## Fonents

Els fonents per a la soldadura per arc submergit estan granulats a una grandària controlada i poden ser de tipus fos, aglomerat o sinteritzat. Tant la composició química com l'estat de divisió dels fonents tenen una important influència sobre la forma de comportar-se en la soldadura. El procés d'arc submergit és generalment més susceptible a la porositat causada per superfícies rovellades i brutes que el procés d'arc obert. Això és degut al fet que amb el procés d'arc obert el vapor d'aigua i els productes gasosos, que abandonen la planxa per la calor de la soldadura, poden escapar; mentre que en l'arc submergit tendeixen a ser retinguts sota el coixí de fonent.

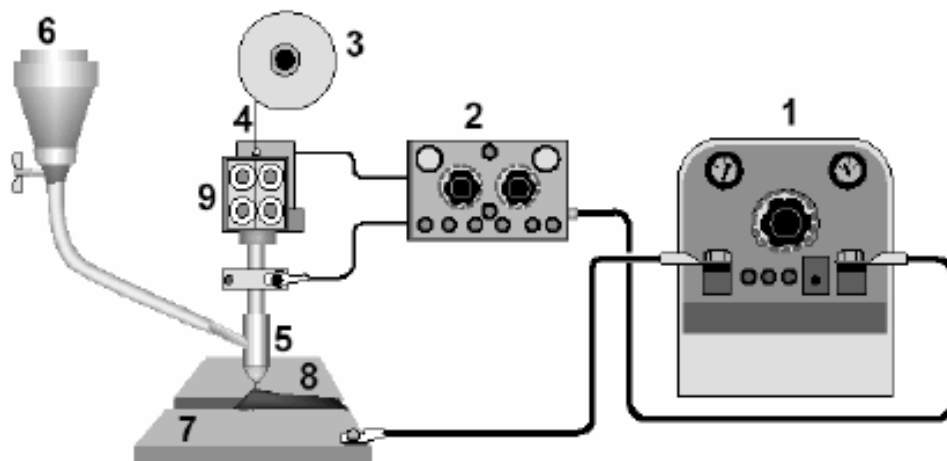


Fig 3.125 Diagrama esquemàtic de l'equip per a arc submergit



1. Font de poder de CC o CA (100% cicle de treball).
2. Sistema de control.
3. Porta rodet de filferro.
4. Filferro-elèctrode.
5. Tobera per a embocadura.
6. Recipient porta-fonent.
7. Metall base.
8. Fonent.
9. Alimentador de filferro.





*Fig 3.126 Utilització del procés de soldadura per arc submergit en el muntatge de perfils tipus "I" soldats.*

### Avantatges i desavantatges del procés

L'arc submergit, respecte dels altres processos de soldadura, ofereix els següents avantatges:

- Les juntes poden ser preparades en "V" amb poca profunditat a causa de l'elevada penetració del procés, obtenint-se amb això un menor consum de filferro i fonent.
- Els processos de soldadura poden realitzar-se a altes velocitats a causa de l'elevada intensitat amb que s'opera en la majoria de les aplicacions.
- No és necessari protegir a l'operador de la màquina de l'emissió de radiació, ja que l'arc es troba submergit en el fonent, evitant-se a més les esquitxades del metall fos.
- El fonent actua com un desoxidant protegint l'arc i aportant elements d'aliatge al cordó en el cas d'emprar fonents aliats.

D'altra banda, les limitacions del procés són:

- Moltes soldadures requereixen algun tipus de respatller per a evitar la perforació del metall base, aquest respatller pot ser del mateix material o d'un material molt més resistent que l'anterior.
- Aquest procés comporta un temps de preparació major que uns altres.
- Amb aquest sistema generalment es solden peces a partir dels 5 mm d'espessor.

La soldadura per arc submergit ha trobat la seva principal aplicació en els acers suaus de baix aliatge, encara que amb el desenvolupament de fonents adequats el procés s'ha usat també per al coure, aliatges a base d'alumini i titani, acers d'alta resistència, acers trempats i revinguts i en molts tipus d'acers inoxidable. També s'aplica per a recobriments durs i reconstrucció de peces. És un mètode utilitzat principalment per a soldadures horitzontals d'espessors per sobre de 5 mm, en els que les soldadures siguin llargues i rectes. Poden soldar-se espessors fins a dotze mil·límetres sense preparació de vores mentre que amb preparació de vores l'espessor màxim a unir és pràcticament il·limitat. El propi capçal de

soldadura pot moure's sobre el treball en un vehicle autopropulsat o en un pont o el treball es fa girar sota el capçal de soldadura estacionari. Aquest mètode és àmpliament utilitzat, tant per a soldadures a tope com en racó, en construcció naval i indústries de recipients a pressió, estructures metàl·liques, tubs i tancs de magatzematge; per a aquesta última finalitat s'utilitzen màquines especials autopropulsades, amb un dispositiu per a contenir el fonent, per a soldar les costures circulars en plaça.

## Processos de soldadura amb arc elèctric que usen elèctrodes no consumibles

Tots els processos AW analitzats fins a aquí usen elèctrodes consumibles, existeixen processos en els que es pot considerar elèctrodes no consumibles: la soldadura de tungstè amb arc elèctric i gas, la soldadura de plasma d'arc elèctric i diversos processos més.

### Soldadura de tungstè amb arc elèctric i gas

La soldadura de tungstè amb arc elèctric i gas, STAEG (en anglès gas tungsten arc welding, GTAW), és un procés que usa un elèctrode de tungstè no consumible i un gas inert per a protegir l'arc elèctric. Amb freqüència, aquest procés es denomina soldadura de tungstè amb gas inert (en anglès tungsten inert gas welding, TIG welding); a Europa se li denomina wolframí amb gas inert (WIG welding). El procés de GTAW pot realitzar-se amb o sense un metall de farciment. La figura següent il·lustra aquest últim cas.

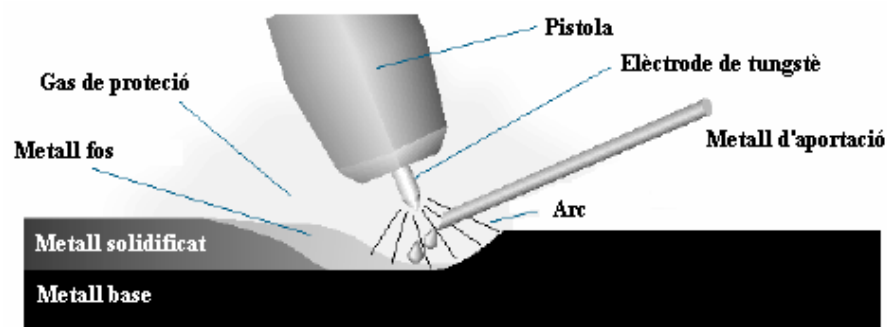


Fig 3.127 Soldadura de tungstè amb arc elèctric i gas.

Quan s'usa un metall d'aportació, aquest s'agrega al pou de soldadura des d'una vareta separada, la qual es fon mitjançant la calor de l'arc elèctric. El tungstè és un bon material per a elèctrode a causa del seu alt punt de fusió de 3410 °C. Els gasos protectors que s'usen normalment inclouen argó, heli o una barreja d'ells.

El sistema TIG és aplicable a gairebé tots els metalls en un rang ampli d'espessors. També s'usa per a unir diferents combinacions de metalls distints. Les seves aplicacions més comunes inclouen l'alumini i l'acer inoxidable. El ferro colat, el ferro fos, el plom i el tungstè són difícils de soldar mitjançant aquest procés. En les aplicacions de soldadura d'acer, la soldadura TIG generalment és més lenta i més costosa que els processos de soldadura amb arc d'elèctrode consumible, excepte quan s'inclouen seccions primes i quan

es requereixen soldadures de molt alta qualitat. Quan es solden fulles primes amb tungstè i gas inert a toleràncies molt reduïdes no s'agrega el metall d'aportació. El procés s'executa en forma manual o mitjançant mètodes de màquina i automatitzats per a tots els tipus d'unions. Els avantatges del sistema TIG són: la seva alta qualitat, no hi ha esquitxades de soldadura degut al fet que no es transfereix un metall d'aportació a través de l'arc elèctric i no es requereix neteja o aquesta és molt reduïda perquè no s'usa fonent.

La Soldadura TIG va ser desenvolupada inicialment amb el propòsit de soldar metalls anticorrosius i altres metalls difícils de soldar, no obstant això al passar del temps, la seva aplicació s'ha expandit incloent tant soldadures com revestiments enduridors (hardfacing) en pràcticament tots els metalls usats comercialment.

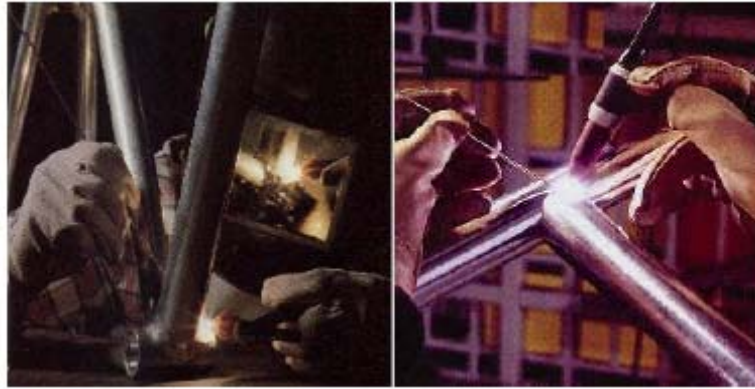
En qualsevol tipus de procés de soldadura la millor soldadura, que es pot obtenir, és aquella on la soldadura i el metall base comparteixen les mateixes propietats químiques, metal·lúrgiques i físiques, per a assolir aquestes condicions la soldadura fosa ha d'estar protegida de l'atmosfera durant l'operació de la soldadura, d'altra forma, l'oxigen i nitrogen de l'atmosfera es combinarien, literalment, amb el metall fos resultant en una soldadura feble i amb porositat. En la soldadura TIG la zona de soldadura és protegida de l'atmosfera per un gas inert que és alimentat a través de la torxa, Argó i Heli poden ser usats amb èxit en aquest procés, l'Argó és principalment utilitzat per la seva gran versatilitat en l'aplicació exitosa d'una gran varietat de metalls, a més del seu alt rendiment permetent soldadures amb un baix flux per a executar al procés. L'Heli genera un arc més calent, permetent una elevació del voltatge en l'arc del 50-60%. Aquesta calor extra és útil especialment quan la soldadura és aplicada en seccions molt pesades. La barreja d'aquests dos gasos és possible i s'usa per a aprofitar els beneficis d'ambdós, però la selecció del gas o barreja de gasos dependrà dels materials a soldar.

Atès que l'atmosfera està aïllada 100% de l'àrea de soldadura i un control molt fi i precís de l'aplicació de calor, les soldadures TIG, són més fortes, més dúctils i més resistents a la corrosió que les soldadures fetes amb el procés ordinari d'arc manual (elèctrode cobert). A més del fet que no es necessita cap fonent, fa aquest tipus de soldadures aplicable a una àmplia gamma de diferents procediments d'unió de metalls.

És impossible que ocorri una corrosió a causa de restes de fonent atrapats en la soldadura i els procediments de neteja en la post-soldadura són eliminats, el procés sencer s'executa sense esquitxades o espurnes, la soldadura de fusió pot ser executada en gairebé tots els metalls usats industrialment, incloent els aliatges d'Alumini, Acer Inoxidable, aliatges de Magnesi, Níquel i els aliatges amb base de Níquel, Coure, Coure-Silici/, Coure-Níquel, Plata, Bronze fosfòric, els aliatges d'acer d'alt carbó i sota carbó, Ferro Colat (cast iron) i altres. El procés també és àmpliament conegut per la seva versatilitat per a soldar materials no similars i aplicar capes d'enduriment de diferents materials a l'acer.

La font de poder per a TIG pot ser AC o DC, no obstant això, algunes característiques excel·lents obtingudes amb cada tipus, fan a cada tipus de corrent millor adaptable per a certes aplicacions específiques.

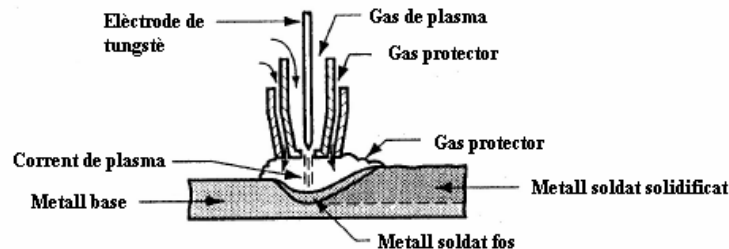




*Fig 3.128 El Gas “El escut protector”. El escut de gas que expulsa la torxa és molt important per assegurar soldadures de qualitat.*

### Soldadura per arc de plasma

La soldadura per arc de plasma, SPA (en anglès plasma arc welding, PAW), és una forma especial de la soldadura de tungstè amb arc elèctric i gas en la qual es dirigeix un arc de plasma controlat a l'àrea de soldadura. En la PAW, es col·loca un elèctrode de tungstè dintre d'un filtre especialment dissenyat, el qual concentra un corrent de gas inert a alta velocitat (per exemple, argó o barreges d'argó i hidrogen) dintre de la regió de l'arc elèctric, per a formar un corrent d'arc de plasma intensament calent a alta velocitat, com en les figures de baix. També s'usen l'argó, l'argó-hidrogen i l'heli com gasos protectors de l'arc elèctric.



*Fig 3.129 Soldadura d'arc de plasma (PAW)*



*Fig 3.130 Maquinària emprada per a la soldadura per arc de plasma.*

Les temperatures en la soldadura de plasma d'arc elèctric són de 2800 °C o majors, i prou altes per a fondre qualsevol metall conegut. La raó d'aquestes altes temperatures en PAW (molt majors que les de TIG) deriven de l'estretor de l'arc elèctric. Encara que els nivells d'energia normals usats en la soldadura de plasma d'arc són menors que els usats en la soldadura de tungstè amb arc elèctric i gas, l'energia es concentra molt per a produir un raig de plasma d'un diàmetre petit i una densitat d'energia molt alta.

La soldadura de plasma d'arc es va introduir al voltant de 1960, però va trigar en popularitzar-se. En anys recents s'usa cada vegada més com substitut de la TIG en aplicacions com subensamblaments d'automòbils, gabinets metàl·lics, marcs per a portes i finestres i aparells per a la llar. A causa de les característiques especials de la PAW, els seus avantatges en aquestes aplicacions inclouen una bona estabilitat d'arc elèctric, un control de penetració millor que en la majoria dels altres processos de soldadura amb arc elèctric, altes velocitats de viatge i una excel·lent qualitat de soldadura. El procés s'usa per a soldar gairebé qualsevol metall, incloent el tungstè. No obstant això, hi ha metalls difícils de soldar amb la PAW, entre aquests s'inclouen el bronze, el ferro colat, el plom i el magnesi. Altres limitacions són l'equip costós i una grandària de bufador més gran que per a les altres operacions de soldadura amb arc elèctric, la qual cosa tendeix a limitar l'accés en algunes configuracions d'unió.

### 3.3.4.3.2 Soldadura per resistència

La soldadura per resistència, SR (en anglès resistance welding, RW), és un grup de processos de soldadura per fusió que utilitza una combinació de calor i pressió per a obtenir una coalescència, la calor es genera mitjançant una resistència elèctrica dirigida cap al flux de corrent en la unió que es vol a soldar. Els principals components en la soldadura per resistència es mostren en les figures posteriors.

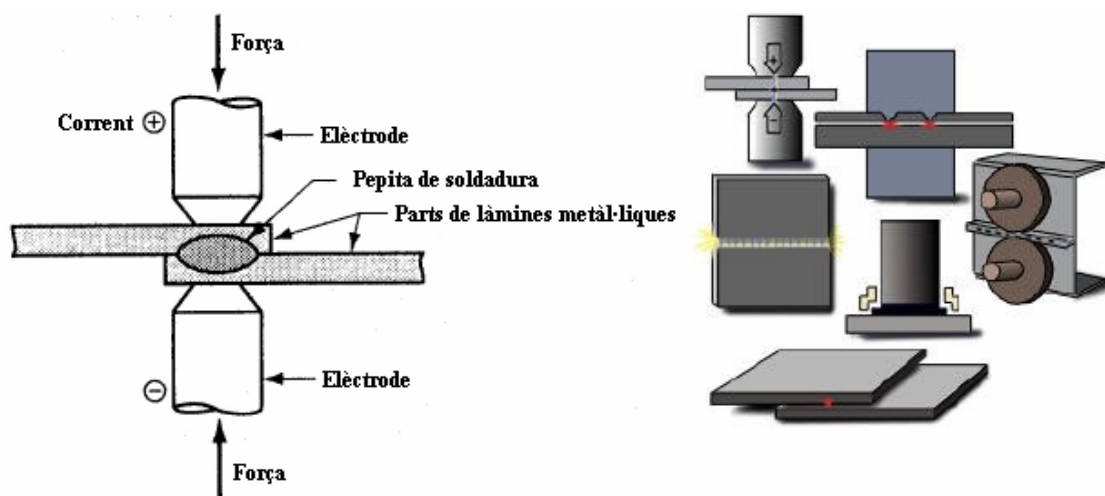


Fig 3.131 Soldadura per resistència mostrant els components en la soldadura de punts.



Fig 3.132 Maquinària emprada per a realitzar el procés de soldadura per resistència

Els components inclouen les parts del treball que s'han de soldar (en general parts de làmina metàl·lica), dos elèctrodes oposats, un mitjà per a aplicar pressió destinat a estrènyer les parts entre els elèctrodes i un transformador de corrent altern des del qual s'aplica un corrent controlat.

L'operació produeix una zona de fusió entre les dues parts, denominada una *pepita* de soldadura en la soldadura de punts.

En comparació de la soldadura amb arc elèctric, la soldadura per resistència no usa gasos protectors, fonents o metall d'aportació i els elèctrodes que condueixen el corrent elèctric per al procés són no consumibles, la RW es classifica com un procés de soldadura per fusió perquè la calor aplicada provoca la fusió de les superfícies empalmants. No obstant això, hi ha excepcions. Algunes operacions de soldadura basades en l'escalfament d'una resistència usen temperatures per sota del punt de fusió dels metalls base, pel que no ocorre una fusió.



## Font d'energia en la soldadura per resistència

L'energia calorífica aplicada a l'operació de soldadura depèn del flux de corrent, la resistència del circuit i l'interval del temps en que s'aplica el corrent. Això s'expressa mitjançant l'equació:

$$H = I^2 R t$$

On:

H = calor generat, en Ws o J;

I = corrent, en A;

R = resistència elèctrica, en ( $\Omega$ );

T = temps, en segons.

El corrent usat en les operacions de soldadura per resistència és molt alt (comunament de 5000 a 20 000 A), encara que el voltatge és relativament baix (normalment menys de 10). La durada del corrent és breu en la majoria dels processos, potser de 0.1 a 0.4 seg en una operació de soldadura de punts normal.

Les raons per les quals el corrent és tan alt en la soldadura per resistència són: 1) el terme al quadrat en l'equació anterior amplifica l'efecte del corrent i 2) la resistència és molt baixa (al voltant de 0.0001 ( $\Omega$ )). La resistència en el circuit de soldadura és la suma de: 1) La resistència dels elèctrodes, 2) la resistència de les parts de treball, 3) les resistències de contacte entre els elèctrodes i les parts de treball i 4) la resistència de contacte de les superfícies empalmants siguin la resistència més gran en la suma, atès que aquesta és la posició desitjada per a la soldadura. La resistència dels elèctrodes es minimitza usant metalls amb resistivitats molt baixes, com el coure. La resistència de les parts de treball és una funció de les resistivitats dels metalls base implícits i els espessors de les parts. La resistència de contacte entre els elèctrodes i les parts es determina mitjançant les àrees de contacte (grandària i forma de l'elèctrode) i la condició de les superfícies (per exemple, la neteja de les superfícies de treball i l'òxid en l'elèctrode). Finalment, la resistència en les superfícies empalmants depèn de l'acabat de la superfície, la neteja, l'àrea de contacte i la pressió. No ha d'existir pintura, grassa, brutícia o altres contaminants que separin les superfícies que fan contacte.

L'èxit en la soldadura per resistència depèn tant de la pressió com de la calor. Les principals funcions de la pressió en la RW són: 1) obligar que facin contacte els elèctrodes i les parts de treball (igual que les dues superfícies de treball) abans d'aplicar un corrent i 2) pressionar les superfícies empalmants una contra l'altra per a obtenir una coalescència quan s'arribi a la temperatura per a soldadura correcta.

Els avantatges generals de la soldadura per resistència són: 1) no es requereix un metall de farciment, 2) són possibles altes taxes de producció, 3) es presta per a la mecanització i l'automatització, 4) el nivell d'habilitat de l'operador és menor al que es requereix per a la

soldadura amb arc elèctric i 5) és fàcil de repetir i és fiable. Els desavantatges són: 1) el cost inicial de l'equip és alt, en general molt més costós que la majoria de les operacions de soldadura amb arc elèctric i 2) els tipus d'unions que poden soldar-se estan limitats a les unions sobreposades per a la majoria dels processos de RW.

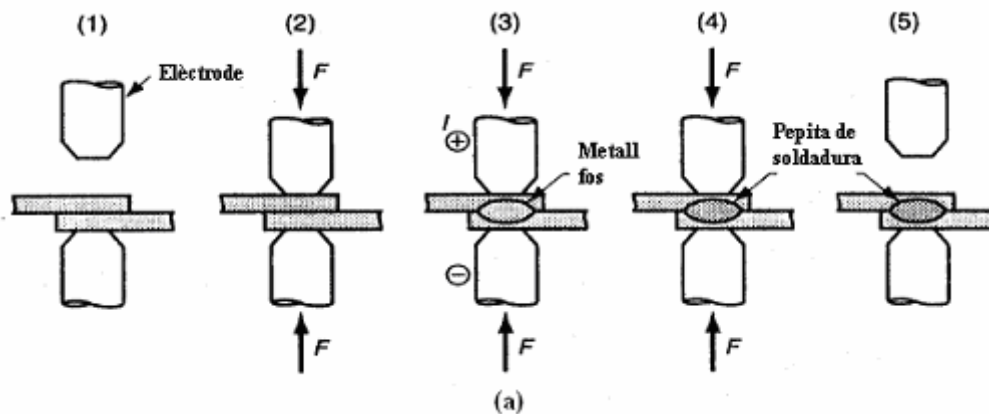
## Processos de soldadura per resistència

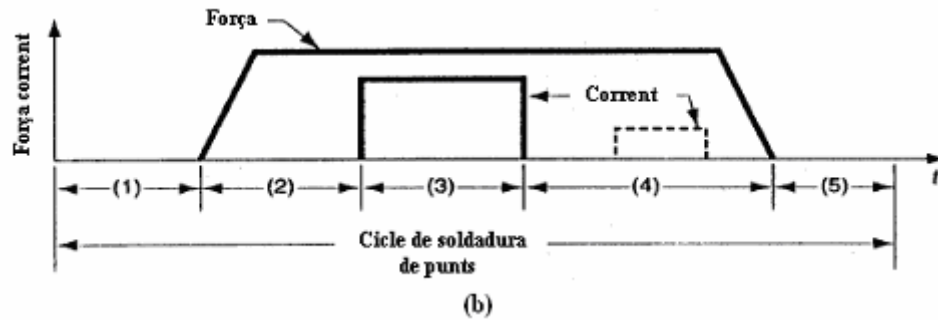
Els processos de soldadura per resistència de major importància comercial són la soldadura de punts, engalzada i per projecció.

### Soldadura de punts per resistència

La soldadura de punts per resistència és per molt el procés predominant en aquest grup. S'usa àmpliament en la producció massiva d'automòbils, aparells domèstics, mobles metàl·lics i altres productes fets a partir de làmines metàl·liques. Si es considera que la carrosseria d'un automòbil normal té aproximadament 10000 soldadures de punts individuals i que la producció anual d'automòbils en tot el món s'amida en desenes de milions d'unitats, és possible apreciar la importància econòmica de la soldadura de punts.

La soldadura de punts per resistència, SPR (en anglès resistance spot welding, RSW), és un procés en el que s'obté la fusió en una posició de les superfícies empalmants d'una unió superposada, mitjançant elèctrodes oposats. El procés s'usa per a unir parts de làmines metàl·liques amb un grossor de 3 mm o menys, usant una sèrie de soldadures de punts en situacions on no es requereix un ensamblament hermètic. La grandària i la forma del punt de soldadura es determina per mitjà de la punta d'elèctrode, la forma d'elèctrode més comú és rodona; però també s'usen formes hexagonals, quadrades i altres. La *pepita* de soldadura resultant té normalment un diàmetre de 5 a 10 mm, amb una zona afectada per la calor que s'estén una mica més enllà de la *pepita* dintre dels metalls base. Si la soldadura es fa correctament, la seva resistència és comparable amb la del metall circumdant. El cicle en una operació de soldadura de punts es mostra la figura següent.





La seqüència és: (1) parts inserides entre els elèctrodes oberts, (2) els elèctrodes es tanquen i s'aplica una força, (3) temps de soldadura (s'activa el corrent), (4) es desactiva el corrent, però es manté o s'augmenta la força (en ocasions s'augmenta un corrent reduït prop del final d'aquest pas per a alliberar la tensió en la regió de la soldadura) i (5) s'obren els elèctrodes i es remou l'ensamblament soldat.

Fig 3.133 (a) Passos en un cicle de soldadura de punts, i (b) gràfica de la força de pressió i el corrent durant el Cicle.

Els materials usats per als elèctrodes en la SPR consisteixen en dos grups principals: 1) aliatges basats en coure. Els elèctrodes són usats de coure, perquè, comparat amb la majoria dels metalls, el coure té una resistència elèctrica més baixa i una conductivitat tèrmica més alta, això assegura que el calor serà generat en la peça de treball i no en els elèctrodes, en la taula posterior, es mostren algunes d'aquestes propietats. 2) compostos de metalls refractaris, com combinacions de coure i tungstè. El segon grup té una major resistència al desgast. Igual que en la majoria dels processos de manufactura, les eines per a la soldadura de punts es desgasten gradualment amb l'ús. Quan, és possible, els elèctrodes es dissenyen amb canals interns per a refredament amb aigua.

Metall	Conductivitat Tèrmica (W/m·K)	Resistivitat Elèctrica (Ohms·cm)	Punt de Fusió (°C)
Acer (1020)	52	$17,4 \cdot 10^{-6}$	1500
Alumini	190	$5,0 \cdot 10^{-6}$	620
Zinc	112	$5,9 \cdot 10^{-6}$	420
Coure	385	$1,7 \cdot 10^{-6}$	1085

Taula 3.27 Propietats d'alguns materials als que se'ls realitza soldadura per punts

A causa del seu extens ús industrial, hi ha disponibles diverses màquines i mètodes per a realitzar les operacions de soldadura de punts. L'equip inclou màquines de soldadura de punts amb balancí i tipus premsa, així com pistoles portàtils per a soldadura. Els soldadors de punts de balancí, que mostra la figura de sota a) i b), tenen un elèctrode inferior estacionari i un elèctrode superior mòbil que puja i baixa per a carregar i descarregar el treball. L'elèctrode superior es munta en un balancí, el moviment del qual és controlat mitjançant un pedal operat pel treballador. Les màquines modernes es poden programar per a controlar la força i el corrent durant el cicle de soldadura.

Els soldadors de punts tipus premsa estan dissenyats per a un treball més gran. L'elèctrode superior té un moviment en línia recta proporcionat per una premsa vertical, que s'opera en forma automàtica o hidràulica. L'acció de la premsa permet que s'apliquin forces més grans, i els controls generalment fan possible la programació de cicles de soldadura complexos.



*Fig 3.134 a) Màquina de soldadura de punts amb balanci.*



*Fig 3.135 b) Operaris fen servir la màquina.*

Els dos tipus de màquines anteriors són soldadores de punts estacionaris o estàtics, en els que la peça es col·loca en la màquina. Per a treballs pesats i grans és difícil moure i (orientar) les peces cap a les màquines estacionàries. Per a aquests casos, es conta amb pistoles portàtils de soldadura de punts en diferents grandàries i configuracions. Aquests aparells consisteixen en dos elèctrodes oposats dintre d'un mecanisme de tenalles. Cada unitat és lleugera, pel que un treballador o un robot industrial poden sostenir-la i manipular-la. La pistola està connectada a la seva pròpia font i control d'energia, mitjançant cables elèctrics flexibles i mànegues d'aire. Si és necessari, també es

proporciona refredament dels elèctrodes mitjançant una mànega amb aigua. Les pistoles portàtils per a soldadura de punts s'usen àmpliament en les plantes d'ensamblament final d'automòbils, per a soldar les carrosseries de làmines metàl·liques. Algunes d'aquestes pistoles són manejades per treballadors, però els robots industrials s'han convertit en la tecnologia preferida.

### Soldadura engalzada per resistència

En la soldadura engalzada per resistència, SER (en anglès resistance seam welding, RSEW), els elèctrodes amb forma de vareta de la soldadura de punts es substitueixen amb rodes giratòries, com es mostren en la figura següent, i es fa una sèrie de soldadures de punts sobreposades al llarg de la unió.

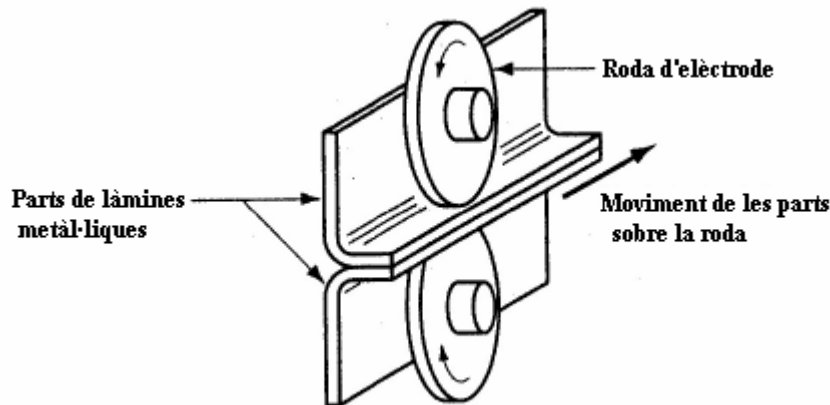


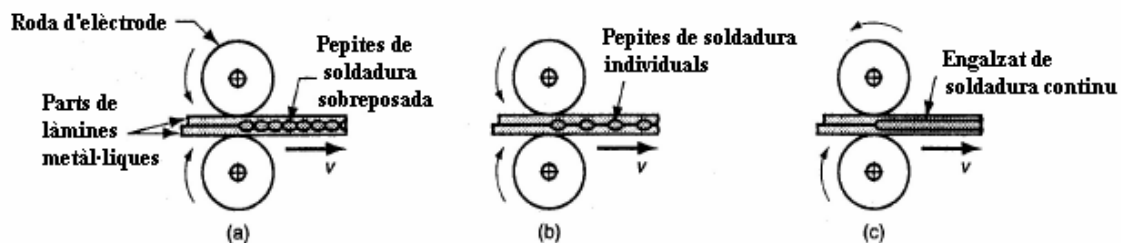
Fig 3.136 Soldadura d'engalzat per resistència (RSEW).

El procés produeix unions hermètiques i les seves aplicacions industrials inclouen la producció de tancs de gasolina, silenciadors d'automòbils i altres recipients fabricats amb làmines de metall. Tècnicament, la RSEW és igual que la soldadura de punts, excepte que els elèctrodes en rodes introdueixen certes complexitats. Atès que l'operació generalment es realitza en forma contínua, i no separada, les formes engalzades han d'estar al llarg d'una línia recta o uniformement corba. Els cantons aguts i irregularitats similars són difícils de realitzar. Així mateix, la deformació de les parts és el factor més significatiu en la soldadura engalzada per resistència, per aquesta causa es requereixen suports ben dissenyats per a sostenir el treball en la posició correcta i així reduir la distorsió.

L'espaiament entre les *pepites* de soldadura en la soldadura engalzada per resistència depèn del moviment de les rodes d'elèctrodes relacionat amb l'aplicació del corrent de soldadura. En el mètode usual d'operació, denominat soldadura de moviment continu, la roda gira en forma contínua a una velocitat constant i el corrent s'activa a intervals de temps que coincideixen amb l'espaiament desitjat entre els punts de soldadura al llarg de l'engalzat. Normalment, la freqüència de les descàrregues de corrent s'estableix perquè es

produeixin punts de soldadura sobreposats. Però si es redueix bastant la freqüència, haurà espais entre els punts de soldadura i aquest mètode es denomina soldadura de punts amb corró. En un altra variable, el corrent de soldadura roman en un nivell constant (en lloc d'activar-se i desactivar-se), pel que es produeix un engalzat de soldadura veritablement continu. Aquestes variacions es mostren en la figura de baix.

Una alternativa per a la soldadura del moviment continu és la soldadura de moviment intermitent, en la qual la roda d'elèctrodes es deté periòdicament per a fer la soldadura de punts. La quantitat de rotació de roda entre les detencions determina la distància entre els punts de soldadura al llarg de l'engalzat, produint patrons similars als de les parts (a) i (b) de la figura.



(a) soldadura d'engalzat per resistència convencional, en la qual es produïxen punts sobreposats, (b) soldadura de punts en rotlló i (c) soldadura per resistència contínua.

Fig 3.137 Diferents tipus d'engalzats produïts per rodes d'elèctrodes:

Les màquines de soldadura engalzada són similars als soldadors per punts de tipus pressió, excepte que s'usen rodes d'elèctrodes, en lloc dels elèctrodes normals amb forma de vareta. Amb freqüència és necessari el refredament del treball i les rodes en la soldadura engalzada per resistència, això s'aconsegueix dirigint aigua a les parts superior i inferior de les superfícies de la part de treball, prop de les rodes d'elèctrodes.

## Soldadura per projecció

La Soldadura per projecció, SEP (en anglès resistance projection welding, RPW), és un procés de soldadura per resistència en el qual ocorre la coalescència en un o més punts de contacte relativament petits en les parts. Aquests punts de contacte es determinen mitjançant el disseny de les parts que es van a unir i poden consistir en projeccions, gravats o interseccions localitzades de les parts. Un cas normal en el qual es solden dues parts de xapes de metall es descriu en la figura posterior. La part superior s'ha fabricat amb dos punts gravats per a entrar en contacte amb l'altra part al principi del procés. Pot argumentar-se que l'operació de gravat augmenta el cost de la part, però aquest increment queda més que compensat pels estalvis en el cost de la soldadura.



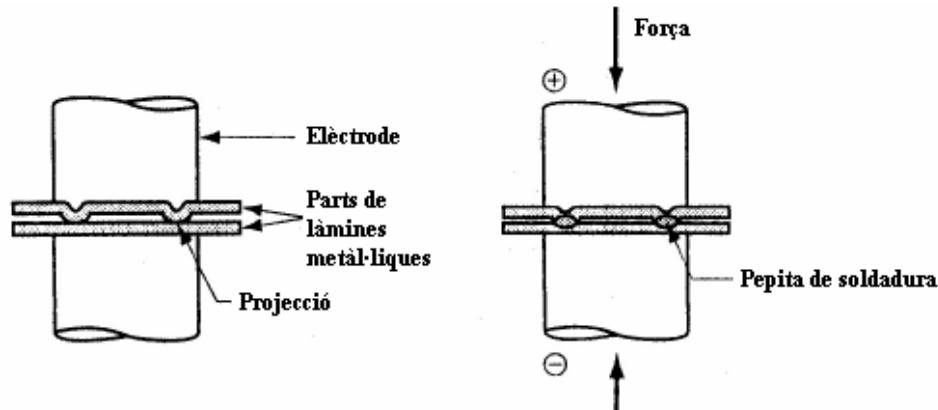
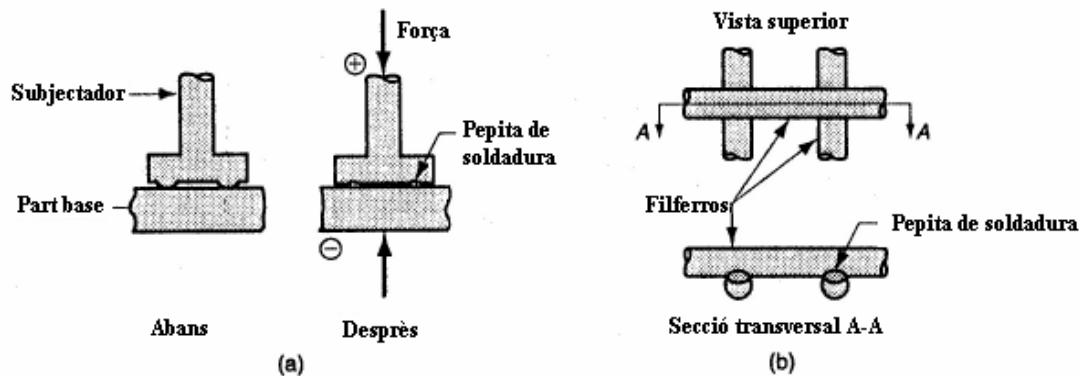


Fig 3.138 Soldadura per projecció (RPW).



(a) soldadura d'un subjectador mecanitzat o format sobre una part de xapa de metall i (b) soldadura de filferro transversal.

Fig 3.139 Dues variables de soldadura per projecció

La figura de dalt mostra dues variables de la soldadura per projecció. En una, és possible unir permanentment subjectadors amb projeccions mecanitzades o formades en làmines o plaques mitjançant RW, el que facilita les operacions d'ensamblament subseqüents. Una altra variable, anomenada soldadura de filferro transversal, s'usa per a fabricar productes de filferro soldats, com filats, carros per a supermercat i graelles d'estufes. En aquest procés, les superfícies dels filferros rodons que fan contacte funcionen com les projeccions i permeten situar la calor de resistència per a la soldadura.

### 3.3.4.3.3 Soldadura amb oxigen i gas combustible

La soldadura amb oxigen i gas combustible, SOGC (en anglès oxyfuel gas welding, OFW); és el terme que s'usa per a descriure el grup d'operacions de fusió durant les quals es cremen diferents combustibles barrejats amb oxigen per a executar la soldadura. Els processos de soldadura amb oxigen i gas combustible empen diversos tipus de gasos, els quals representen la principal diferència entre els processos d'aquest grup. L'oxigen i el gas combustible també s'usen normalment en bufadors de tall per a separar plaques metàl·liques i altres parts. El procés més important de soldadura amb oxigen i gas combustible és la soldadura amb oxiacetilè.



## Soldadura amb oxiacetilè

La soldadura amb oxiacetilè, OAW (en anglès oxyacetylene welding, OAW), és un procés de soldadura per fusió realitzat mitjançant una flama d'alta temperatura a partir de la combustió de l'acetilè i l'oxigen. La flama es dirigeix mitjançant un bufador de soldadura. En ocasions s'agrega un metall d'aportació i s'arriba a aplicar pressió entre les superfícies de les parts que fan contacte. La figura de sota mostra una operació de soldadura amb oxiacetilè comuna.

Quan s'usa metall d'aportació, normalment està en forma de varetes de 90 cm de longitud amb diàmetres que van des de 1.6 mm fins a 9.5 mm. La composició de l'aportació ha de ser similar a la dels metalls base. Amb freqüència es recobreix l'aportació amb un fonent, el que ajuda a netejar les superfícies, evita l'oxidació i es produeix una millor unió soldada.

L'acetilè ( $C_2H_2$ ) és el combustible més popular entre el grup de OFW perquè suporta temperatures més altes que qualsevol dels altres, fins a de  $3480\text{ }^{\circ}\text{C}$ . La flama en la soldadura amb oxiacetilè es produeix mitjançant la reacció química de l'acetilè i l'oxigen en dues etapes.

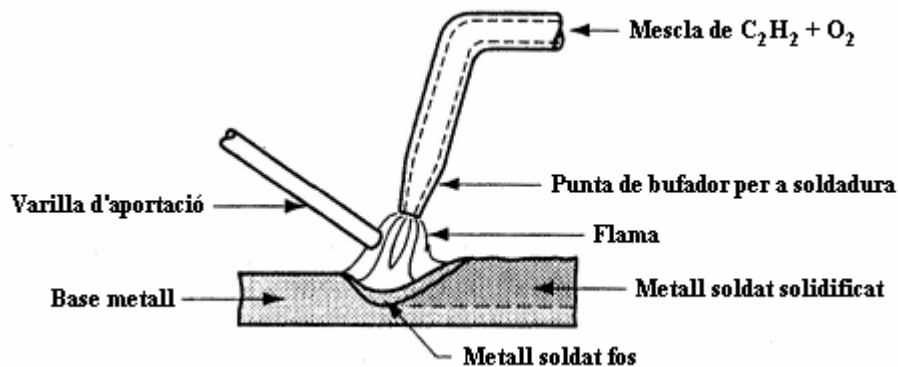
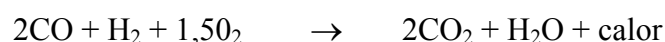


Fig 3.140 Una operació típica de soldadura amb oxiacetilè (OAW).

La primera etapa es defineix mitjançant la reacció:



De la que els seus productes són consumibles, el que condueix a la reacció de la següent etapa:



Les dues etapes de la combustió són visibles en la flama d'oxiacetilè que emet el bufador. Quan la barreja d'acetilè i oxigen està en la raó 1:1, com es descriu en les fórmules de reacció química, la flama resultant és similar a la de la figura de més a baix, i es denomina una flama neutral. La reacció de la primera etapa s'aprecia com el con intern de la flama (que té un color blanc brillant), mentre que la reacció de la segona etapa s'exhibeix en la coberta externa (que gairebé no té color, però posseeix matisos que van del blau al

taronja). La temperatura màxima s'arriba en la punta del con intern; les temperatures de la segona etapa són, d'alguna manera, menors que les del con intern. Durant la soldadura, la coberta externa s'estén i protegeix de l'atmosfera circumdant les superfícies de treball que s'uneixen.

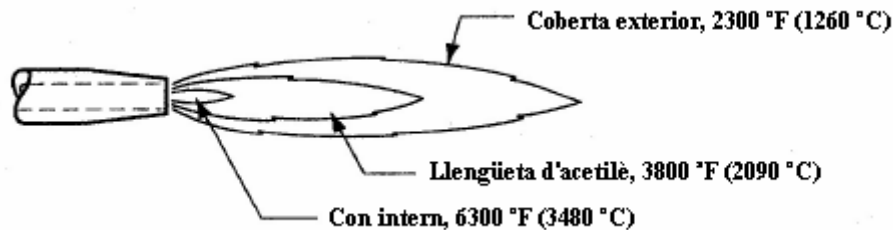


Fig 3.141 La flama neutra d'un bufador d'oxiacetilè indicant les temperatures obtingudes.

La calor total alliberada durant les dues etapes de la combustió és de  $55 \times 10^6 \text{ J/m}^3$  d'acetilè. No obstant això, a causa de la distribució de la temperatura en la flama, la forma en la que aquesta s'estén sobre la superfície de treball i es perd en l'aire, així com les densitats d'energia i les eficiències de transferència de calor en la soldadura amb oxiacetilè són relativament baixes:  $f_1 = 0.10$  a  $0.30$ .

La combinació de l'acetilè amb l'oxigen és molt inflamable i per tant, l'ambient en el que es realitza la OAW és perillós. Alguns dels perills es relacionen específicament amb l'acetilè. El  $\text{C}_2\text{H}_2$  pur és un gas inodor i incolor. Per raons de seguretat, l'acetilè comercial es processa perquè contingui una olor característica d'all. Una limitació física del gas és la seva inestabilitat a pressions superiors al voltant de 1 atm. Per aquesta raó, els cilindres d'emmagatzematge d'acetilè s'empaquen amb un material porós (tal com asbest, fusta de bassa i altres materials) saturat amb acetona ( $\text{CH}_3\text{COCH}_3$ ). L'acetilè es dissol en acetona líquida; de fet, l'acetona dissol al voltant de 25 vegades el seu propi volum en acetilè, el que proporciona un mitjà relativament segur d'emmagatzemar aquest gas per a soldadura. Algunes altres precaucions de seguretat en la soldadura amb oxiacetilè inclouen protecció per als ulls i la pell del soldador (lents, guants i robes de protecció), les cordes dels cargols en els cilindres i mànegues d'acetilè i oxigen són distintes de les estàndards, per a evitar la connexió accidental dels gasos incorrectes, i també és fonamental un manteniment adequat de l'equip.

La soldadura amb oxiacetilè usa un equip relativament barat i portàtil. Per tant, és un procés econòmic i versàtil, convenient per a producció en baixes quantitats i treballs de reparació. Rares vegades s'usa per a soldar matèria primera de làmines i plaques més gruixudes de 6.4 mm a causa de les avantatges de la soldadura amb arc elèctric en tals aplicacions. Encara que la OAW pot mecanitzar-se, amb freqüència s'executa en forma manual i, per aquesta causa, depèn de l'habilitat del soldador produir una unió soldada d'alta qualitat.

### 3.3.4.4 Soldadura dels acers inoxidable

#### 3.3.4.4.1 Introducció

##### Aptituds dels acers inoxidable per a la soldadura

Les propietats físiques dels acers al carboni i dels inoxidable són bastant diferents, i això requereix una revisió dels processos de soldadura.

Com a exemple, en la següent taula es mostra una comparativa de les propietats físiques que influeixen en la soldadura entre l'acer al carboni i l'inoxidable de classe austenítica:

	Acers inoxidable austenítics	Acers al carboni	Observacions
Punt de fusió (Tipus 304)	1400-1450 °C	1540 °C	El tipus 304 requereix menys calor per produir la fusió, cosa que significa una soldadura més ràpida per a la mateixa calor, o menys calor per a la mateixa velocitat.
Resposta magnètica	No magnètic a totes les temperatures	Magnètic fins més de 705 °C	Els acers inoxidable al níquel no estan subjectes al bufatge d'arc.
Velocitat de conductivitat tèrmica a 100 °C a 650 °C	28 % 66 %	100 % 100 %	El Tipus 304 condueix la calor molt més lentament que els acers al carboni, cosa que produeix gradients de temperatura més pronunciats. Això accelera la deformació. Una difusió més lenta del calor a través del metall de base significa que la zona soldada roman calenta per més temps, resultat del qual pot ser una major precipitació de carburs, a menys que s'usin mitjans artificials per extreure la calor, tals com barres refredadores, etc.
Resistència Elèctrica (aliat) ( $\mu\Omega \cdot \text{cm}$ , aprox.) a 20 °C a 885 °C	72,0 126,0	12,5 125	Això és important als mètodes de fusió elèctrica. La resistència elèctrica més gran del tipus 304 resulta en la generació de més calor per al mateix corrent, o la mateixa quantitat de calor amb menys corrent, comparat amb els acers al carboni. Aquesta propietat, juntament amb una menor velocitat de conductivitat tèrmica, resulta en l'efectivitat dels mètodes per soldadura per resistència del tipus 304.
Expansió tèrmica al rang indicat (pols./°C x $10^{-6}$ )	17,6 (20 - 500 °C)	11,7 (20 - 628 °C)	El tipus 304 s'expandeix i contrau a una velocitat més alta que l'acer al carboni, cosa que significa que s'ha de permetre l'expansió i contracció a fi de controlar la deformació i el desenvolupament de tensions tèrmiques després del refredament. Per exemple, per a l'acer inoxidable han d'utilitzar-se més punts de soldadura que per a l'acer al carboni.

Taula 3.28 Propietats físiques que influeixen en la soldadura entre l'acer al carboni i l'inoxidable de classe austenítica

Com s'il·lustra en aquesta taula, el punt de fusió dels austenítics és menor, així que es requereix menys calor per aconseguir la fusió. La seva resistència elèctrica és major que la dels acers comuns, així que es requereix menys corrent elèctric per a la soldadura. Aquests acers inoxidablens tenen un coeficient de conductivitat tèrmica menor, cosa que causa que el calor es concentri en una zona petita adjacent a la soldadura. Els acers inoxidablens austenítics també tenen coeficients d'expansió tèrmica aproximadament 50% més grans que els acers al carboni, cosa que requereix més atenció en el control de la distorsió i deformació.

### Efecte de la soldadura en la resistència a la corrosió

La soldadura pot reduir aquesta resistència en ambients agressius. A la soldadura, la calor que es genera produeix un gradient de temperatura al metall de base. La soldadura també pot induir tensions residuals en l'àrea soldada, cosa que en certs ambients pot donar lloc a ruptures per corrosió sota tensió. Existeixen però, tractaments tèrmics per reduir les tensions residuals.

### 3.3.4.4.2 Processos de soldadura

#### Soldadura per arc protegit

##### Soldadura TIG:

El procés TIG s'utilitza àmpliament i és molt adequat per soldar acer inoxidable.

Per soldar acers inoxidablens, en l'escut gasós s'utilitza argó pur, heli o mescles dels dos. Les mescles d'argó amb oxigen que s'utilitzen en la soldadura MIG no han de ser emprats en la TIG, degut al ràpid deteriorament dels elèctrodes de tungstè. Les addicions de nitrogen no es recomanen per la mateixa raó. En la soldadura manual i realització de junctures per sota d'un gruix d'1,6 mm es prefereix l'argó com a escut gasós. Dóna una bona penetració amb una velocitat de flux menor que la de l'heli, i hi ha menys oportunitat de fondre la soldadura. L'heli produeix un major flux calorífic i una penetració més profunda, cosa que pot ser un avantatge en algunes operacions de soldadura automàtica. Les mescles d'argó i heli poden millorar el contorn de la soldadura i la mullabilitat.

Els metalls d'aportació adequats per la soldadura TIG d'acers inoxidablens es mostren en la taula que apareix a continuació. Els trossos rectes s'utilitzen normalment en la soldadura manual, mentre que els filferros en rotlles o bobines s'utilitzen en la soldadura automàtica. Són essencials pràctiques convencionals de control de qualitat per assegurar la neteja dels filferros i evitar la barreja de les diferents qualitats. El filferro no ha de ser netejat abans de ser utilitzat i emmagatzemat en un lloc a cobert.

Material de base	Elèctrode recobert		Elèctrode nu i vareta	
AISI	AWS A5.4	Nom comú (UNS)	AWS A5.4	Nom comú (UNS)
304	E 308 <sup>(1)</sup>	W30810	ER 308 <sup>(1)</sup>	S30880
304L	E 308L	W30813	ER 308	S30883
309	E 309 <sup>(1)</sup>	W30910	ER 309 <sup>(1)</sup>	S30980
310	E 310	W31010	ER 310	S31080
316	E 316 <sup>(1)</sup>	W31610	ER 316 <sup>(1)</sup>	S31680
316L	E 316L	W31613	ER 316 L	S31683
317	E 317 <sup>(1)</sup>	S31780	ER 317 <sup>(1)</sup>	31780
317L	E 317L	W31713	ER 317L	S31783
321	E 347	W34710	ER 321	S52180
347	E 347	W34710	ER 347	S34780
410	E 410	W41010	ER 410	W41040
430	E 430	W43010	ER 430	W43040
2205	-	W39209	-	S39553
17-4PH	E 630 <sup>(2)</sup>	W37410	ER 630 <sup>(2)</sup>	W37440

Taula 3.29 Electrodes utilitzats a diferents tipus d'acers inoxidables

Notes:

(1) La “L” o grau baix en carboni o un grau estabilitzat s'utilitza sempre per a una construcció soldada, excepte en algunes poques instàncies on és més important una duresa una mica superior que una millor resistència a la corrosió.

(2) Quan la soldadura no necessita tenir la resistència del material de base, és pot emprar E 308 (W30810) ó ER 308 (W30840).

### Soldadura MIG:

Els tres modes utilitzats en la soldadura d'acers inoxidables són: spray, curt circuit i arc polsat. La següent taula compara alguns paràmetres i diferències d'ús entre els tres:

	Spray	Curt Circuit	Arc Polsat
Gruixos	3 mm mínim 6 mm i més	1,6 mm i més	1,6 mm i més
Posicions	Plana i horitzontal	Totes	Totes
Velocitat relativa de deposició	La més alta	La més baixa	Intermèdia
Diàmetre típic del filferro	1,16 mm	0,8 ó 0,9 mm	0,9 ó 1,2 mm
Corrent típic de soldadura	250 - 300 ampers	50 - 225 ampers	Pics de 250 ampers
Escut gasós*	Argó - 1% d'oxigen	90% heli 7,5% argó 2,5% CO <sub>2</sub>	90% heli 7,5% argó 2,5% CO <sub>2</sub>
	ó	ó	ó
	Argó - 2% d'oxigen	90% argó 7,5% heli 2,5% CO <sub>2</sub>	90% argó 7,5% heli 2,5% CO <sub>2</sub>
			ó
			Argó - 1% d'oxigen

Taula 3.30 paràmetres i diferències d'ús entre els tres modes utilitzats en la soldadura d'acers inoxidables

\* Nota: S'utilitzen altres mescles de gasos, en canvi, l'escut gasós han de contenir al menys 97,5% de gas inert, per exemple: argó, heli o una mescla dels dos.

Les mateixes fonts de potència, mecanismes d'alimentació de filferro i torxes que s'utilitzen per a la soldadura d'acers ordinaris, s'utilitzen en acers inoxidables. Els recobriments plàstics als conductes d'alimentació de filferro han demostrat ser útils per reduir l'arrossegament amb filferros d'acer inoxidable.

### Altres processos de soldadura:

Els acers inoxidables es poden soldar per la majoria dels processos comercials de soldadura. Aquests processos poden oferir avantatges no obtinguts en els processos de soldadura amb elèctrodes, MIG i TIG, i haurien de ser tinguts en compte per a altes produccions o fabricacions especials. Com a exemple, han hagut recents avenços en la producció de filferros amb ànima plena de decaçant, que produeixen soldadures d'alta qualitat, amb una major eficiència que la soldadura amb elèctrodes recoberts. Aquests filferros buits sovint són més fàcils de produir amb composicions especials o rangs de ferrita, que el filferro sòlid.

La soldadura per arc submergit, s'ha utilitzat extensament per soldar gruixos d'uns 6,4 mm i més, i per a soldadura en solapa. Hi ha decaçants comercials disponibles per utilitzar amb metalls d'aportació emprats per a soldadura MIG.

Els processos per arc de plasma, electroescòria, feix d'electrons, làser i fricció s'estan utilitzant més i més; i els processos de soldadura per resistència, per punt, costura, projecció i flash es poden adaptar fàcilment a la soldadura dels acers inoxidables.

Los acers inoxidables es poden soldar entre si o amb altres metalls per bronzejat. No s'usa normalment quan la unió estarà exposada a ambients corrosius severes, però hi ha processos industrials i alimenticis on el bronzejat proveeix propietats adequades.

La soldadura oxiacetiènica no es recomana per a acers inoxidables. Els òxids de crom que es formen a la superfície fan que aquest tipus de soldadura sigui difícil. En canvi, més important és la cura extrema que es necessita a la soldadura per evitar reduir la resistència a la corrosió de la soldadura i l'àrea adjacent.



### 3.3.5 Agrafat de xapes metàl·liques

El terme agrafat engloba tots els procediments d'unió mecànica que es realitzen mitjançant la deformació plàstica d'almenys un dels components a ensamblar. Aquesta tècnica d'unió es pot combinar fàcilment amb el pegat. Permet obtenir una junta estanca mitjançant l'addició de massilla, pegament o una junta.

En la mesura de lo possible, l'agrafat deu dissenyar-se de forma que els cantells no quedin exposats (per raons estètiques i protecció contra la corrosió). Al nostre disseny però la junta haurà d'anar exposada a l'exterior per així permetre la col·locació de les peces interiors.

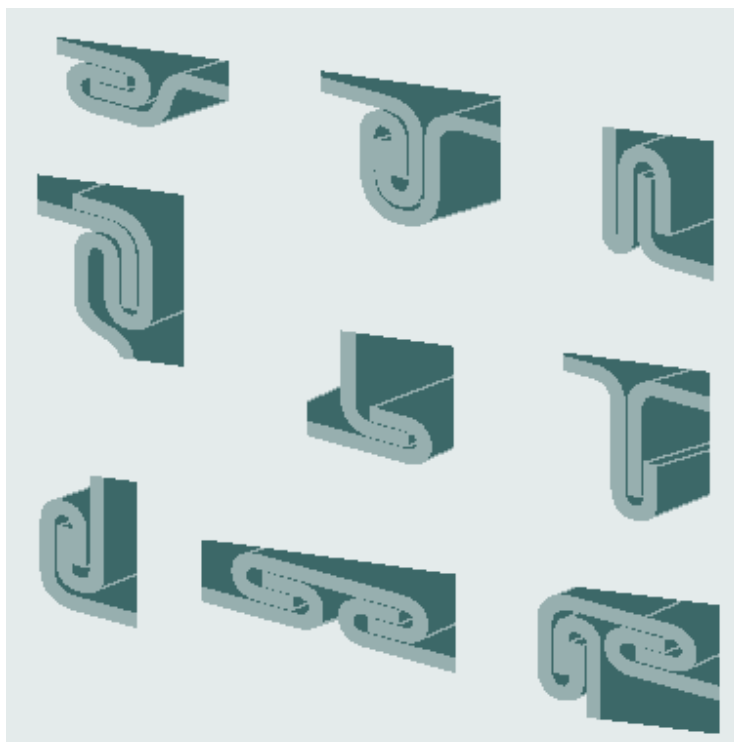


Fig 3.142 Agrafats simples i dobles

La unió realitzada no es pot desmuntar. Des del punt de vista mecànic, presenta una baixa resistència al lliscament en el sentit de l'agrafat i una reduïda resistència a l'obertura.

#### 3.3.5.1 Agrafat longitudinal

Aquest tipus d'agrafat s'utilitza per unir longitudinalment els dos extrems d'una xapa metàl·lica, formant així un cos o carcassa. Aquest sistema es utilitza per a la creació de canonades o per formar carcasses com les dels silenciosos o les llaunes de conserva o begudes, etc.



Fig 3.143 Alguns productes fabricats mitjançant agrafat

Per a la fabricació de carcasses a les que posteriorment s'afegiran tapes als extrems per a obtenir un espai tancat, l'agrafat no es fa al llarg de tota la longitud de la peça, sinó que es deixa una petita secció a cada extrem sense aplicar aquest procés (on queden dues capes de xapa solapades una damunt de l'altra). Aquesta operació es realitza per a reduir la quantitat de material a la junta longitudinal a prop dels extrems ja que posteriorment s'haurà de realitzar l'agrafat de les tapes. En la figura següent es pot veure el procés de formació d'aquest tipus d'agrafat.

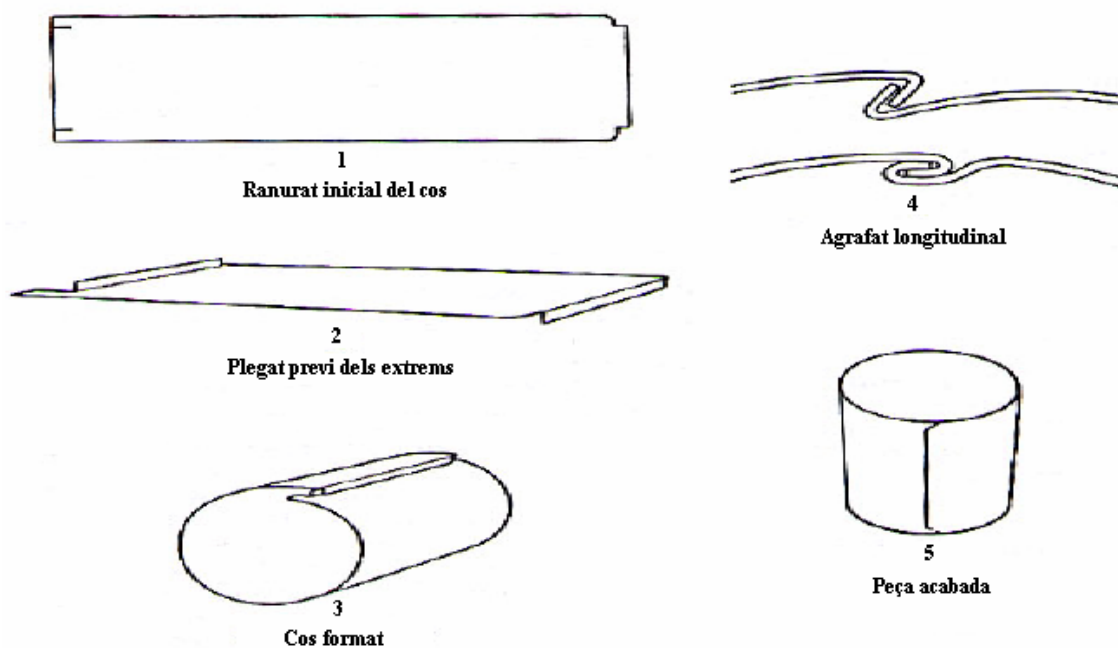


Fig 3.144 Seqüència de formació de l'agrafat longitudinal d'una carcassa

### 3.3.5.2 Agrafat doble

L'agrafat doble és la unió formada entre el cos i l'extrem d'un recipient per fixació mecànica i la compressió de la vora de la carcassa i de l'enrotllament de l'extrem.

L'agrafat doble es forma en dues operacions i consisteix generalment en cinc capes de xapa, excepte en la part que coincideix amb l'agrafat longitudinal on hi ha set capes. La primera operació determina la quantitat de material en la costura mentre que la segona operació comprimeix les capes. Les dimensions suggerides d'un agrafat doble variaran segons un nombre de factors incloent la forma i la grandària del recipient, el gruix de la xapa de l'extrem i del cos, i el fabricant dels components del recipient i de la màquina que realitza l'agrafat doble.

En un agrafat doble distingim les següents parts i dimensions:

- Ganxo del cos - el cantell del cos del recipient que es plega en la formació de l'agrafat doble.
- Part interior - la dimensió de la vora superior de l'agrafat doble al fons del radi de la paret interior.
- Encreuament - terme altern: juntura. És la porció de l'agrafat doble que s'interseca amb l'agrafat longitudinal del cos del recipient.
- Ganxo de l'extrem - terme altern: coberta del ganxo. El enrotllament del recipient que queda interior al donar-li la volta en la formació de l'agrafat doble.
- Espai lliure - la diferència entre el gruix de l'agrafat format i la suma dels cinc gruixos de la xapa que componen l'agrafat doble.
- Solapat - la distància que l'ganxo de l'extrem es solapa sobre el ganxo del cos.
- Doblec de la pressió - una impressió contínua al voltant de la perifèria interior del cos del recipient en l'àrea de l'agrafat doble que forma la pressió del corró de l'agrafadora.
- Buit de l'agrafat - el buit entre el ganxo del cos i la xapa que cus.
- Longitud d'agrafat - terme altern: altura d'agrafat. És la dimensió externa de l'agrafat doble paral·lela a l'eix vertical del recipient.
- Gruix d'agrafat - la dimensió externa de l'agrafat doble amidada aproximadament perpendicular a l'eix vertical del recipient. La mesura real assumeix el mateix angle que la paret de la part interior.
- Buits - les àrees sense metall en l'ganxo de l'extrem i en el ganxo del cos. Per a un segellat hermètic en les llaunes de conserva per exemple, aquests buits s'omplen d'un compost especial.

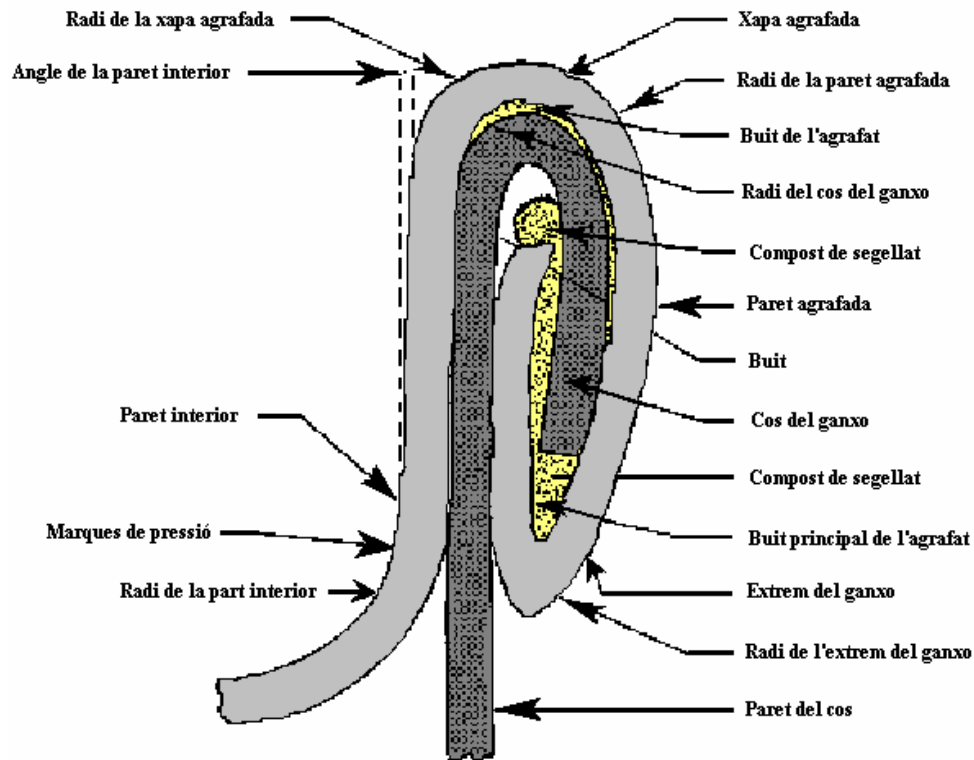


Fig 3.145 Terminologia general de l'agrafat doble

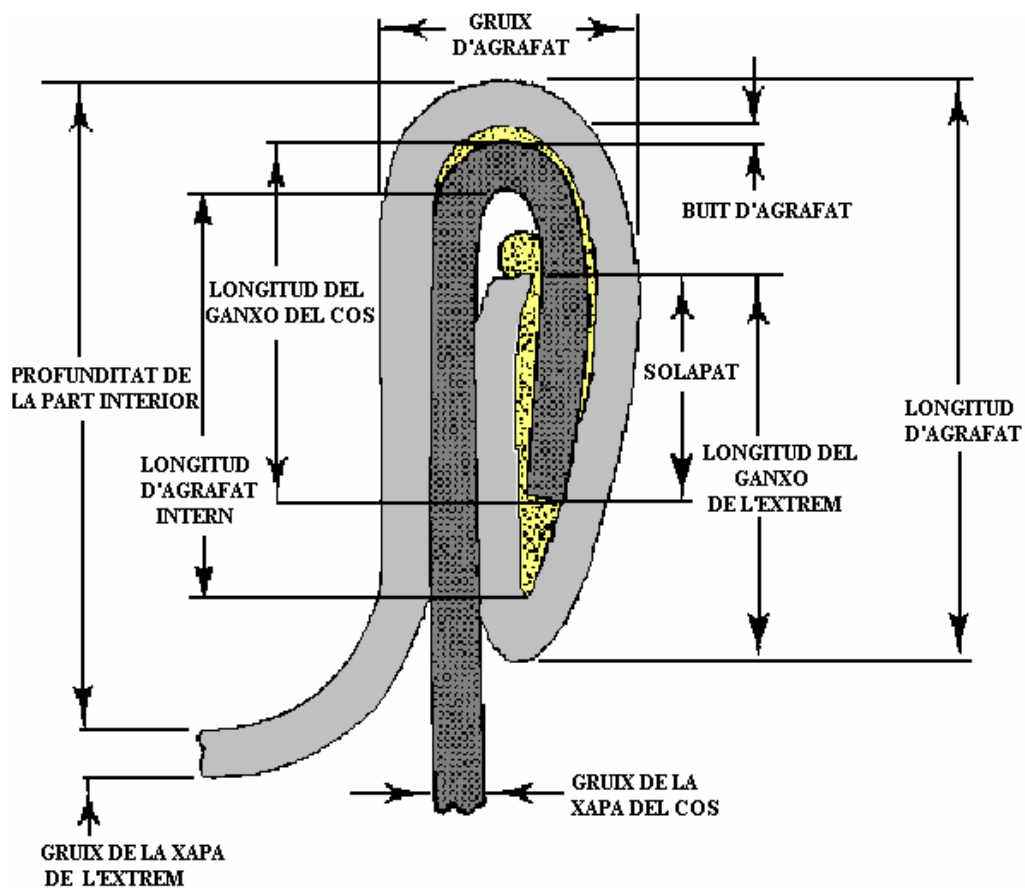


Fig 3.146 Terminologia dimensional de l'agrafat doble

### 3.3.5.2.1 Formació de l'agrafat doble

Els extrems són col·locats a l'extensa majoria de recipients per màquines anomenades grafadores dobles. La grafadora doble pren el seu nom del fet que l'agrafat doble es forma en dues operacions diferents. En la majoria d'agrafadores dobles aquestes dues operacions són realitzades per corròs. El cos i l'extrem del recipient són units amb unes passades d'un corró que els cus amb una càrrega aplicada verticalment al recipient. El primer corró de l'operació, fica l'extrem de la tapa sota el cantell de la carcassa. El segon corró de l'operació comprimeix aquestes capes enclavades de metall.

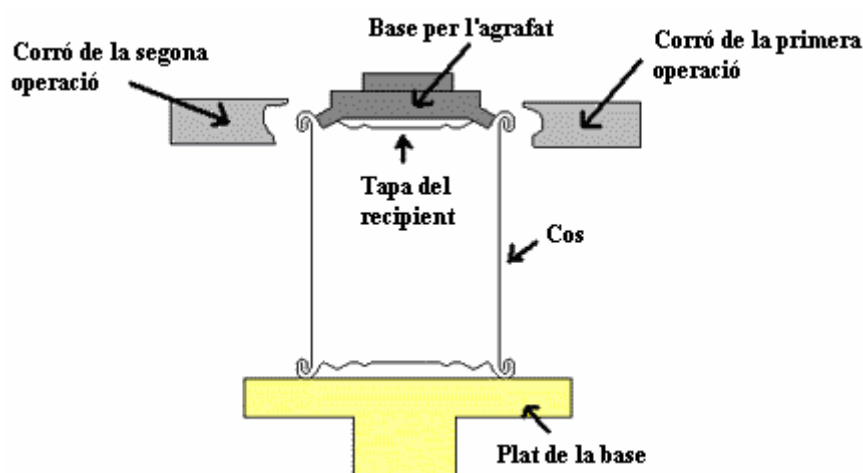


Fig 3.147 Disseny bàsic de l'agrafat doble

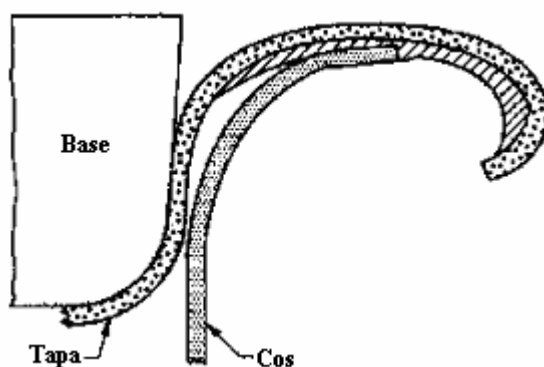


Fig 3.148 Posició dels elements a l'inici de l'agrafat doble

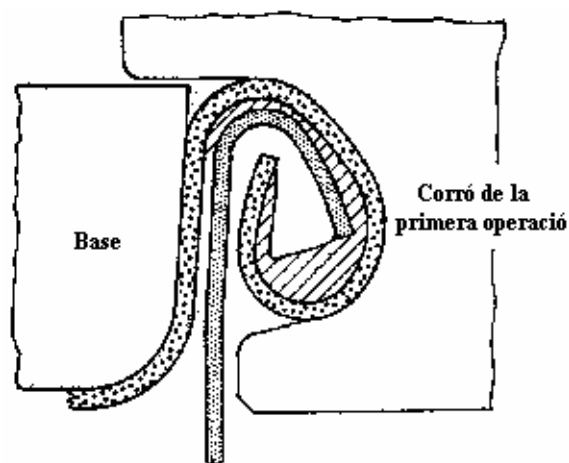


Fig 3.149 Posicionament dels elements després de la primera operació

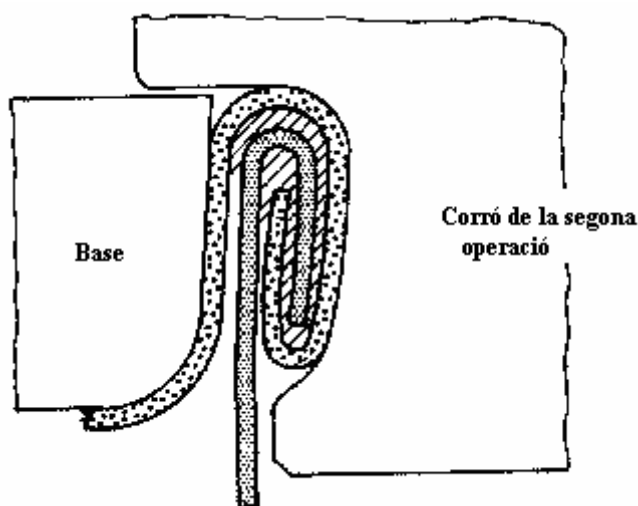


Fig 3.150 Posició dels elements després de la segona operació. Agrafat finalitzat.

### 3.3.5.2.2 Factors importants de l'agrafat doble

Els requisits previs per a arribar a bona integritat en la formació de l'agrafat doble són:

1. Carcassa i tapes correctament formats i indemnes.
2. L'absència d'altre material en les àrees que s'agrafen (per ex., excés de compost de la soldadura, material).
3. La col·locació i forma apropiats del cantell de la carcassa i de la tapa donant com a resultat un correcte solapat.
4. La compressió del cantell de la carcassa i de l'enrotllament de la tapa per a formar el ganxo del cos i el ganxo de l'extrem que s'uneixen fermament.

Si els primers dos requisits se satisfan la valoració final de l'agrafat es basa en els últims dos requisits previs, grau de solapat i grau d'apretat / doblec de pressió. D'aquesta forma

aquestes dues mesures són les que generalment serviran per a prendre una decisió en el disseny de l'agrafat.

## Solapat

Els ganxos del cos i de l'extrem han de solapar-se suficientment per a assegurar una bona rigidesa de l'agrafat. Les pautes dimensionals de la longitud del solapat varia per a cada costura. En cada cas, no obstant això, en les pautes d'agrafat doble es proporciona una longitud mínima acceptada.

- Percentatge de solapat - es defineix com el quocient de la longitud de solapat (A), entre la longitud interna de l'agrafat (C), expressat en tant per cent.

$$\% \text{ Solapat} = A/C \times 100$$

- Entroncament del ganxo del cos - aquest és un altre mètode de quantificar el buit en l'àrea principal de buit. Es defineix com el quocient de la longitud interna del ganxo del cos (B), entre la longitud interna de l'agrafat doble i s'expressa generalment com tant per cent (percentatge d'entroncament del ganxo del cos).

L'entroncament del ganxo del cos es pot prendre per separat com un dels factors de l'agrafat doble. Els càlculs de l'entroncament del ganxo del cos no es poden substituir per a la mesura del solapat en l'avaluació d'un agraflat doble. L'entroncament del ganxo del cos s'ha de considerar com un dels factors que es poden utilitzar per a determinar agraflats dobles; el solapat, l'apretat i la doblec de la pressió són altres factors importants. La longitud del ganxo del cos amb referència a la longitud interna de l'agrafat ha de ser suficient per a assegurar que aquest encaixi en el ganxo de l'extrem produint un bon segellat. L'experiència indica que es requereix un entroncament del ganxo del cos mínim del 70% per a assegurar un segellat adequat.

$$\% \text{ Entroncament del ganxo del cos} = B/C \times 100$$

$$\% \text{ Entroncament del ganxo del cos} = \frac{BH - 1,1tb}{SL - 1,1(2te + tb)} \times 100$$

On:

BH = Longitud del ganxo del cos

tb = Gruix de la xapa del cos

SL = longitud d'agrafat

te = Gruix de la xapa de la tapa

- Longitud d'agrafat – aquesta dimensió és una indicador del solapat ja que a mesura que la longitud augmenta, el solapat normalment es va reduint. La longitud d'agrafat depèn en part del perfil del corró d'agrafat i del seu desgast.



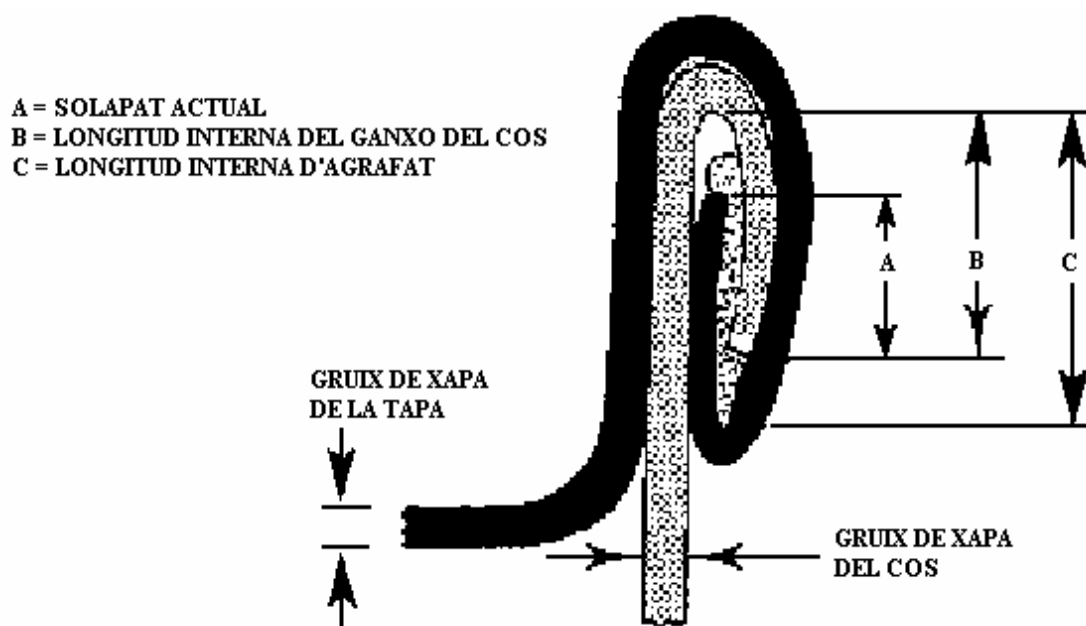


Fig 3.151 Solapat i entroncament del ganxo del cos

## Apretat

L'agrafat doble ha de ser suficientment apretat per a sostenir el compost (si n'hi ha) sota compressió però no tan ferm perquè la xapa de metall es deformi amb la possibilitat de fracturar-se.

Hi ha dos aspectes que s'han de considerar al jutjar l'apretat de l'agrafat:

1. El grau d'apretat, que és una mesura del grau d'arrugat del ganxo de l'extrem.
2. El doblec de pressió.

Altres mesures externes que indiquen un apretat apropiat de l'agrafat són:

3. Gruix d'agrafat doble.
4. Gruix de l'encreuament.
5. Espai lliure.

### 1 . Grau d'apretat

Quan les vores rectes d'una xapa es pleguen sobre si mateixes, el doblegat és llis. Quan les vores estan corbades i es pleguen sobre si mateixes, el doblegat no és llis, sinó que s'arruga. El grau d'arrugat augmenta mentre que el radi de curvatura disminueix. Al operar amb un extrem que està en part o totalment corbat, les arrugues es formen en el ganxo de l'extrem en la primera operació. El grau d'arrugat es redueix quan l'agrafat doble es

comprimeix en la segona operació. L'agrafat ha de ser suficientment apretat de manera que l'espai lliure sigui petit, però no zero.

El grau d'apretat és una mesura del grau d'arrugat que queda en el ganxo de l'extrem en l'agrafat doble acabat.

## 2 . Doblec de la pressió / àrea de la pressió

El doblec de la pressió o l'àrea de la pressió és una impressió en l'interior del cos del recipient en l'àrea de l'agrafat i és formada per la segona operació que marca la pressió del corró. En costures convenientment estretes la impressió ha d'aparèixer contínua i uniforme al llarg de la perifèria sencera. La grandària de la impressió pot variar d'una línia contínua feble aproximadament 3 mil·límetres sota el radi del ganxo del cos, a un àrea de 3 mil·límetres de gruix de la compressió (àrea de la pressió) en la qual l'aspecte del cos s'altera lleument. El grau de la impressió depèn de la xapa del cos, la grandària i l'estil del recipient, i l'equip d'agrafat utilitzat.

La presència d'un doblec de pressió excessiu ha de ser evitada. Hi ha ocasions que un doblec de pressió pot ser feble, absent o excessiu però l'agrafat pot ser satisfactori quan es medeixen altres paràmetres. La presència d'un doblec de pressió dependrà del disseny de la base de l'agrafadora i el tipus d'envàs i material utilitzat.

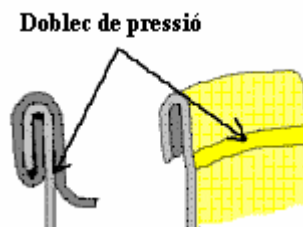


Fig 3.152 Detall del doblec de pressió

## 3 . El gruix d'agrafat doble

Aquesta dimensió és un indicador de l'apretat de l'agrafat. Per a un recipient donat, la gamma de gruix no ha d'excedir d'unes pautes d'agrafat doble.

Ja que els gruixos del metall de la tapa i del cos varien de vegades en el mateix envàs, el gruix real de les cinc capes de metall seria calculat com:

$$(2 \times \text{gruix del metall del cos}) + (3 \times \text{gruix del metall de la tapa}) = \text{gruix calculat d'agrafat doble}$$

Per a tenir en compte el compost d'agrafat que de vegades s'afegix i les característiques normals del procés, un gruix d'agrafat doble mesurat no ha d'excedir aquest gruix calculat per més del 33%.

## 4 . El gruix de l'encreuament

És el gruix màxim de l'agrafat doble on interseca l'agrafat longitudinal del cos.

## 5 . Espai lliure

La diferència entre el gruix d'agrafat mesurat i la suma dels cinc gruixos que componen la costura. Aquest càlcul es pot utilitzar com indicador de l'apretat; no obstant això, no ha de ser utilitzat per a substituir el grau d'apretat.

*Espai lliure = gruix d'agrafat - (2 x gruix de la xapa del cos + 3 x gruix de la xapa de l'extrem)*

### CONTAINER EQUIPMENT SERVICE CUSTOMER DOUBLE SEAM GUIDELINES

CAN: SANITARY NON BEADED DRAWN		CAN SIZE: 301 X 106
BODY PLATE WT.: .0110" FLANGE THICKNESS		END PLATE WT: 85#
SEAMER MODEL NO.:	CANCO 300B	
SEAMING CHUCK NO.:	C2608C	LIP THICKNESS: .120"
1ST OPER. ROLL NO.:	R145EC	2ND OPER. ROLL NO.: R246C
PIN GAUGE HEIGHT AT END OF 1ST OPERATION: 1.205" ± .005"		
BASE PLATE SPRING PRESSURE: 200 LBS ± 25 AT .030" DEF.		
SEAM DIMENSIONS	SET-UP	OPERATING
1ST OPER. SEAM THICKNESS	.089" ± .005"	
1ST OPER. SEAM WIDTH	.104" MAX	
1ST OPER. COUNTERSINK DEPTH	.123" MAX	
2ND OPER. SEAM THICKNESS	.055" ± .002"	.055" ± .003"
2ND OPER. SEAM WIDTH	.118" ± .003"	.125" MAX
2ND OPER. COUNTERSINK DEPTH	.125" MAX	.130" MAX
BODY HOOK LENGTH	.080" ± .004"	.080" ± .008"
COVER HOOK LENGTH	.076" MIN	.070" MIN
COVER HOOK TIGHTNESS RATING	95% - 100%	85% - 100%
OVERLAP, ACTUAL	.045" MIN	.040" MIN
JUNCTURE RATING	DOES NOT APPLY FOR 2 PIECE CAN	
PRESSURE RIDGE	VISIBLE AND CONTINUOUS	

NOTE 1. The quality of the double seam is the responsibility of the customer.  
NOTE 2. A good first operation seam must be made to obtain a satisfactory finished seam.  
NOTE 3. Final appraisal of a seam should be based on visual examination of the "torn" down seam of three (3) samples.  
NOTE 4. Seams are to be tightened when cover hook tightness falls below minimum operating limits.  
NOTE 5. Pressure ridge or area should be examined closely. Extreme body wall impression can cause body wall fractures or perforations.  
NOTE 6. The above dimensions are based upon AND recommended roll grooves. Different roll grooves are acceptable if operating limits are maintained.

Attachment 7

Taula 3.31 Exemple d'una pauta d'agrafat doble per un fabricant de llaunes de conserva

### 3.3.5.3 Defectes comuns en la fabricació d'agrafats

#### 3.3.5.3.1 Penjolls i "V"s

Una petita projecció d'un agrafat doble per sota del final d'un agrafat normal s'anomena penjoll. Aquest error pot donar-se a qualsevol punt, però és més normal que aparegui en el punt on l'agrafat doble es creua amb l'agrafat longitudinal del cos de l'envàs.

Un petit penjoll en el punt de l'agrafat lateral pot considerar-se normal ja que hi ha un increment addicional del gruix de les xapes en aquesta zona. En canvi, si el penjoll és excessiu vol dir que el ganxo de la tapa és massa curt o inexistent.

Una "V" és una irregularitat a l'agrafat doble que normalment es detecta com una protuberància punteguda per sota de l'exterior de l'agrafat.

Causas:

- Ganxo del cos excessiu (pressió excessiva del plat de la base de l'agrafadora).
- Primera operació massa fluixa o massa apretada.
- Massa soldadura en l'agrafat longitudinal.
- Segona operació massa apretada.
- Peces colpejades.
- Material atrapat en l'agrafat.
- Excessiu amuntegament o distribució desigual del compost d'agrafat en la tapa.
- Xapa dura o trencadissa.

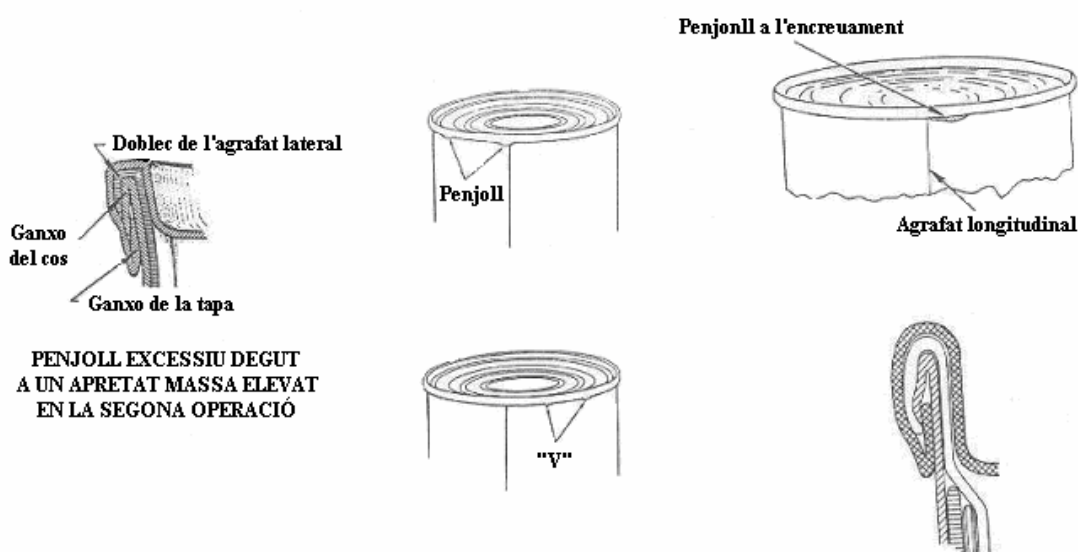


Fig 3.153 Exemples de penjolls i "V"s en agrafts

### 3.3.5.3.2 Agrafats punteguts i talls

Aquestos dos termes són freqüentment utilitzats per a designar el mateix fenomen, encara que els talls es defineixen com una fractura o trencament en la superfície de l'agrafat.

Un agrafat puntegut és una protuberància que es forma a la part de dalt de la tapa, creada per la base d'agrafat durant l'operació de formació. Aquest error pot ser descobert passant un dit per la part superior de la part interior de l'agrafat, és més fàcil sentir-lo amb el tacte que veure'l.

Una petita protuberància en el recipient no és indicativa d'un agrafat defectuós, però si aquesta protuberància punteguda és més considerable és perillosa ja que és fàcil que es produeixin trencaments.

Algunes causes possibles d'aquests defectes són:

- Base d'agrafat desgastada i/o trencada.
- Pressió excessiva del plat de la base de l'agrafadora.
- Corrons de la primera o la segona operació massa apretats.
- Ranures dels corrons d'agrafat desgastades.
- Excés de soldadura a la capa del cos del recipient.
- Material dins l'agrafat.
- Excessiu joc vertical del corró de la primera operació o alineament incorrecte del corró amb la base d'agrafat.

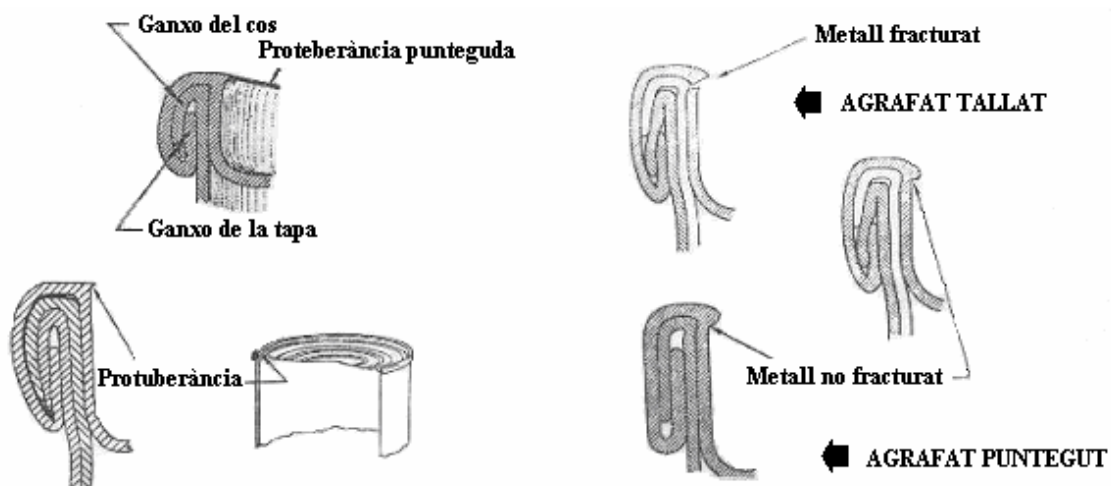


Fig 3.154 Exemple d'agrafat puntegut i tall

### 3.3.5.3.3 Bonys

Un bony és una porció d'un agrafat doble que no està suficientment apretat . Està causat pel resalt dels corròs d'agrafat al passar pel cos del recipient. S'ha d'inspeccionar l'àrea al voltant de la junta lateral del cos, ja que és el punt més crític perquè aparegui aquest fenomen. Qualsevol evidència d'un bony requereix una acció correctora immediata.

Causes dels bonys als agrafats:

- Velocitat excessiva de la màquina d'agrafat, especialment quan s'utilitzen corròs de gran diàmetre.
- Solapat massa gruix o soldadura excessiva a la junta lateral de la carcassa.
- Amortidors del corró de la segona operació trencats o inactius.
- Corró de la primera operació excessivament apretat.

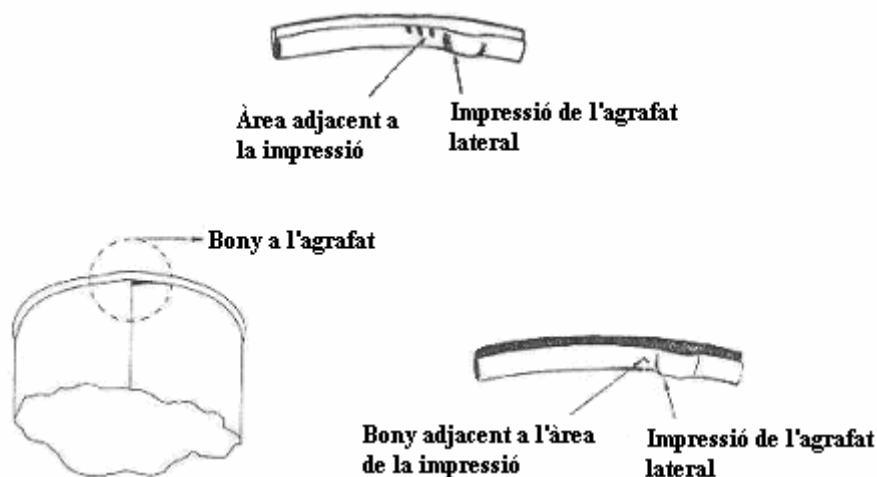


Fig 3.155 Bonys en agrafats

### 3.3.5.3.4 Caps morts, reliscades

Un cap mort és un agrafat incomplet causat per una reliscada de la base d'agrafat en la part interior durant l'operació d'agrafat. Aquest agrafat incomplet usualment comença a l'agrafat lateral.

Causes:

- Pressió insuficient de l'elevador per la formació d'agrafats.
- Resort de l'elevador trencat.
- Pressió de la base massa elevada.

- Disseny de la tapa inadequat per la base d'agrafat, massa apretada o massa fluixa.
- Base d'agrafat desgastada.
- Corrons massa apretats.
- Ganxo del cos curt.
- Ajust inadequat de l'altura de la màquina, base d'agrafat massa alta en relació amb el plat de la base.
- Oli o grassa a la base d'agrafat o l'elevador.
- Excessiu joc vertical de la base d'agrafat.
- Sincronització inadequada.
- Rotació dels corrons d'agrafat o de l'elevador impedita.

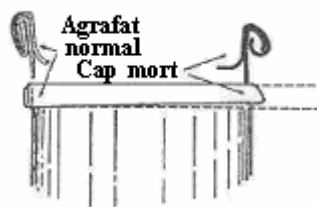


Fig 3.156 Cap mort en un agrafat

### 3.3.5.3.5 Agrafats falsos

Un agrafat fals és un agrafat o una part d'aquest que està completament desenganxat, i en el que el doblec del ganxo de la tapa està comprimit contra el doblec del ganxo del cos. Un agrafat fals no és sempre detectable amb un examen visual.

Causes:

- Envàs mal centrat a la base d'agrafat.
- Anell centrador desgastat o desalineat amb la base d'agrafat.
- Carcassa mal arrodonida o amb el doblec previ mal fabricat.
- Plegat previ de la tapa doblegat o danyat.
- Màquina descompassada.
- Falta d'unió entre el cos i la tapa.
- Pobre formació dels ganxos combinat amb un plat de la base fluix, o una primera operació fluixa amb una segona apretada.
- Falta de tensió en el resort de l'elevador del plat de la base.



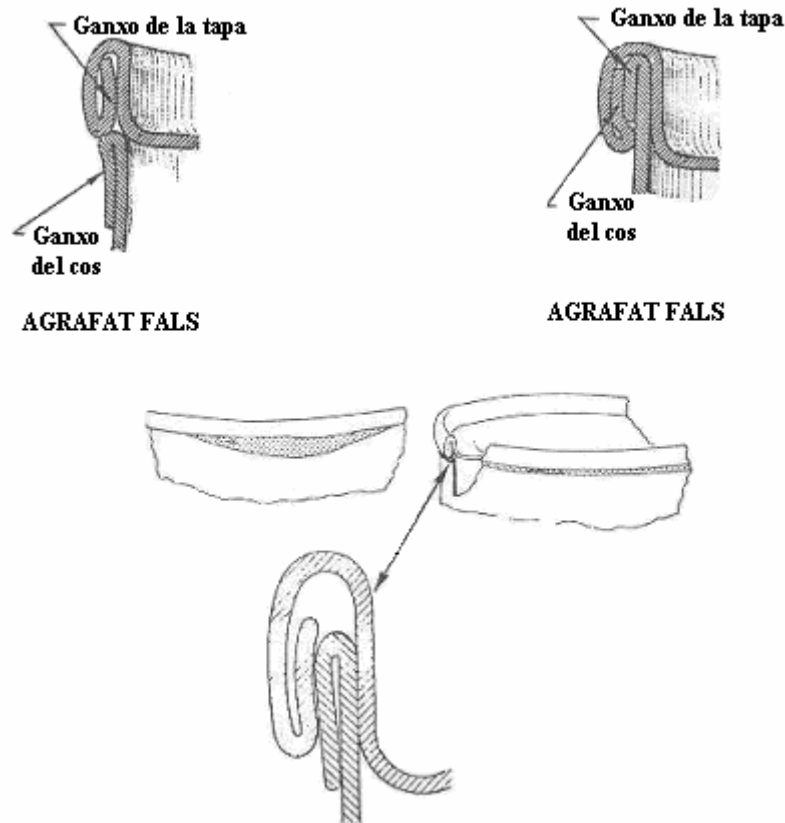


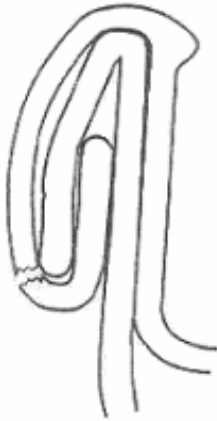
Fig 3.157 Exemples d'agrafats falsos

### 3.3.5.3.6 Agrafats trencats

És una fractura en la capa exterior de l'agrafat doble com es mostra a la figura inferior. Immediatament s'han de prendre mesures de correcció.

Causes:

- Xapa de la tapa trencadissa.
- Agrafat massa apretat.
- Configuració de la base d'agrafat inadequada.
- Corró de la segona operació apretat.
- Excés de pressió.



*Fig 3.158 Agrafat trencat*

### 3.3.6 Operacions de plegat

En el treball de làmines metàl·liques el plegat es defineix com la deformació del metall al voltant d'un eix recte, com es mostra en la figura de baix. Durant l'operació de plegat, el metall dintre del plànol neutral es comprimeix, mentre que el metall per fora del plànol neutral s'estira. Aquestes condicions de deformació es poden veure en la figura (b), El metall es deforma plàsticament així que el plegament pren una forma permanent al remoure els esforços que ho van causar. El plegat produeix poc o cap canvi en l'espessor de la làmina metàl·lica.

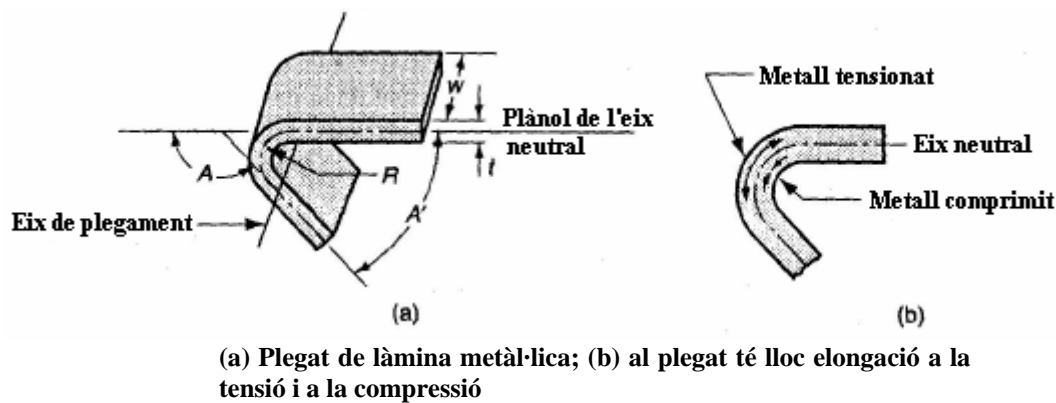
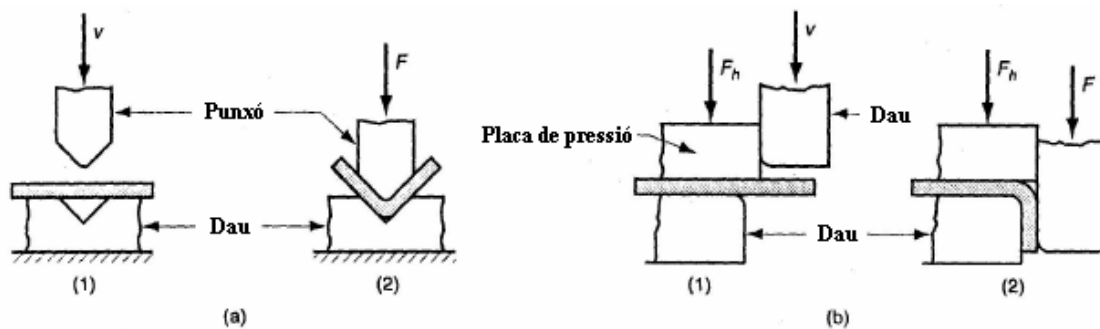


Fig 3.159 Plegat de làmina metàl·lica

#### 3.3.6.1 Plegat en V i plegat de marges

Les operacions de plegat es realitzen usant com eines de treball diversos tipus de punxons i daus. Els dos mètodes de plegat més comuns i les seves eines associades són el plegat en V, executat amb un dau en V; i el plegat de vores, executat amb un dau lliscant. Aquests mètodes s'il·lustren en la figura següent.



(a) plegat en V i (b) plegat de marges; (1) abans i (2) després del plegat. Els símbols  $v$  = velocitat,  $F$  = força de plegat aplicada,  $F_h$  = força de subjecció.

Fig 3.160 Dos mètodes comuns de plegat

En el plegat en V, la làmina de metall es plega entre un punxó i un dau en forma de V, els angles van des dels molt obtusos fins als molt aguts. El plegat en V s'usa generalment per

a operacions de baixa producció i es realitzen freqüentment en una premsa de cortina, els corresponents daus en V són relativament simples i de baix cost.

El plegat de vores involucra una càrrega voladissa sobre la làmina de metall. S'usa una placa de pressió, que aplica una força de subjecció  $F_h$  per a subjectar la làmina contra el dau, mentre el punxó força la part volada per a plegar-la sobre la vora del dau. En l'arranjament que s'il·lustra en la figura anterior (b), el plegat es limita a angles de  $90^\circ$  o menors. Es poden dissenyar daus lliscants més complicats per a angles majors de  $90^\circ$ . A causa de la pressió del subjectador, els daus lliscants són més complicats i més costosos que els daus en V i s'usen generalment per a treballs d'alta producció.

### 3.3.6.2 Anàlisi d'enginyeria del plegat

Alguns termes importants del plegat s'identifiquen en la primera figura d'aquest apartat. El metall, el grossor del qual és  $t$  es plega a través d'un angle, anomenat angle de plegat  $A$ . El resultat és una làmina de metall amb un angle induït  $A'$ , tal que  $A + A' = 180^\circ$ . El radi del plec  $R$  s'especifica normalment sobre la part interna, en lloc de sobre l'eix neutral. Aquest radi de l'angle es determina pel radi de l'eina que s'usa per a executar l'operació. El plegat es fa sobre l'ample de la peça de treball  $w$ .

#### 3.3.6.2.1 Radi mínim de plegat

És el radi mínim que es permet. Constitueix un paràmetre de control ja que evita que s'excedeixi l'allargament de ruptura en les fibres externes per l'utilització de radis molt reduïts.

Com a valor aproximat per al radi de curvatura mínim admissible,  $r_{min}$ , pot agafar-se el que resulta de la relació:

$$r_{min} = C \cdot s$$

on  $C$  és un coeficient que depèn del material (veure taula següent).

MATERIAL		Factor C
Coure		0,25
Zinc		0,40
Alumini	S = 0,5 mm	1,20
	S = 1,0 mm	0,60
	S = 2,0 mm	0,40
	S = 3,0 mm	0,40
	S = 6,0 mm	0,50

MATERIAL	Factor C
Acers inox. Ferrítics = AISI 405,430,446	0,80
Acers inox. Martensítics = AISI 301,302,304	0,50
Acer Rt=34 a 42 kgs/mm <sup>2</sup> YP=22 kgs/mm <sup>2</sup>	1,50
Acer Rt=37 a 45 kgs/mm <sup>2</sup> YP=21 kgs/mm <sup>2</sup>	1,80
Acer Rt=42 a 50 kgs/mm <sup>2</sup> YP=21 kgs/mm <sup>2</sup>	2,00

Taula 3.32 Factor c per a càlculs de radis mínims

### 3.3.6.2.2 Desfogament de plegat

És un petit tall que es fa al material per a prevenir que el radi de doblec faci una distorsió en el metall. Poden ser rectangulars o amb un arrodoniment a la punta.

La relació de separació (d/s) ha de tenir un valor entre 0,05 i 2,0.

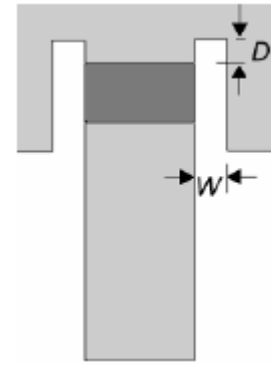


Fig 3.161 Desfogament de plegat

### 3.3.6.2.3 Càlcul de les folgances de plegament

Les folgances de plegament es poden calcular utilitzant dos mètodes: una longitud de desplegat o un factor  $K$ .

#### Longitud de desplegat

La següent equació es usada per a determinar la longitud total desplegada de la làmina prenent les mides interiors:

$$L_t = A + B + BA$$

On:

$L_t$  és la longitud total desplegada.

$A$  i  $B$  són les longituds de la figura.

$BA$  és la folgança de plegament.

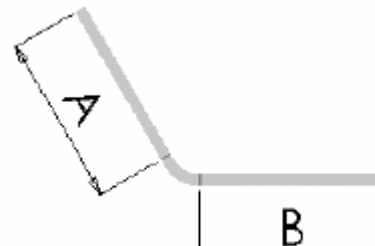


Fig 3.162 Càlcul de la longitud del plec amb mides interiors

Per calcular a partir d'una contracció de plegament hauríem de prendre les mesures exteriors:

$$L_t = A + B - BD$$

On:

$L_t$  és la longitud total desplegada.

$A$  i  $B$  són les longituds de la figura.

$BD$  és la contracció de plegament.

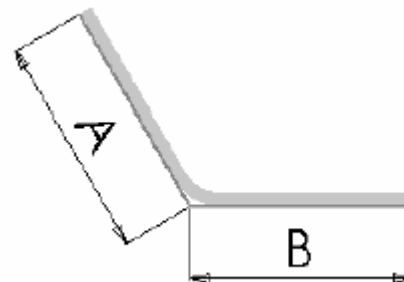


Fig 3.163 Càlcul de la longitud del plec amb mides exteriors

Pot demostrar-se que per a plegats amb angles de  $90^\circ$ :  $BA = 2(R + s) - BD$

#### Factor $K$

El factor  $K$  està relacionat amb la contracció del plegament i la folgança de plegament. És una proporció que representa la ubicació de la fibra neutra (fibra excentra de tensions) respecte a l'espessor de la xapa metàl·lica.

Un mètode que s'utilitza per a calcular les folgances de plegament és de tipus lineal, utilitzant com a fórmula:

$$BA = \pi \cdot (R + K \cdot s) \cdot \frac{A}{180}$$

On:

$BA$  és la folgança de plegament

$R$  el radi de plegament intern

$K$  és el factor  $K$  ( $t/s$ )

$t$  és la distància de la cara interior a la fibra neutra

$A$  l'angle de plegament en graus

$s$  és l'espessor de la xapa

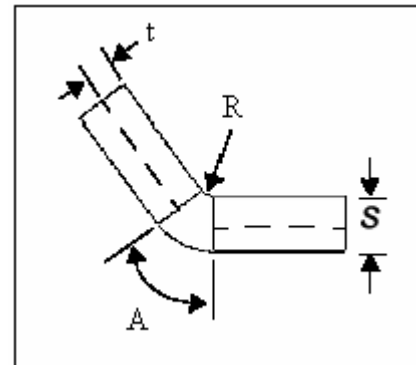
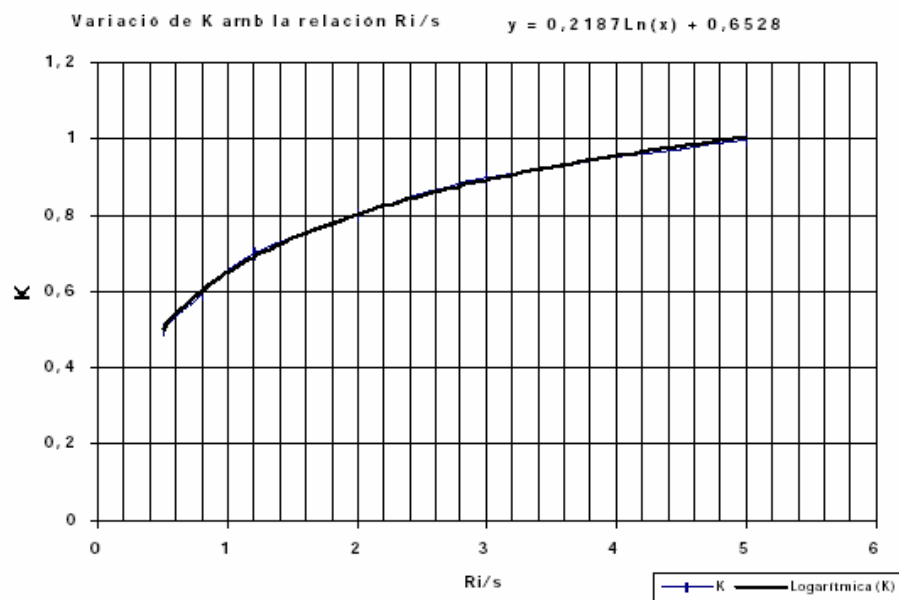


Fig 3.164 Càlcul de les folgances de plegament

Un mètode per a calcular el factor  $K$  parteix de la dependència d'aquest factor amb el tipus de curvatura, que es relaciona amb la variació de la relació  $R/s$ , tenint llavors:



$R/s$	$K$
$\geq 5$	1
3	0,9
2	0,8
1,2	0,7
0,8	0,6
$\leq 0,5$	0,5

Fig 3.165 Gràfic per a calcular el factor  $K$

L'inconvenient que presenta aquesta classe de procediment per a determinar el valor de  $K$  és que no té en compte el tipus de material; per tal motiu només dóna valors aproximats.

De vegades aquests valors són definits directament de taules que donen el valor de  $BA$  o el valor del factor  $K$  d'acord al tipus de material i als espessor i radis de plegament seleccionats.

### 3.3.6.2.4 Recuperació elàstica

Quan la pressió de plegat es retira, l'energia elàstica roman en la part plegada fent que aquesta recobri parcialment la seva forma original. Aquesta recuperació elàstica és anomenada recuperació elàstica i es defineix com l'increment de l'angle comprès per la part plegada en relació amb l'angle comprès per l'eina formadora després que aquesta es retira. Això s'il·lustra en la figura de sota i s'expressa com:

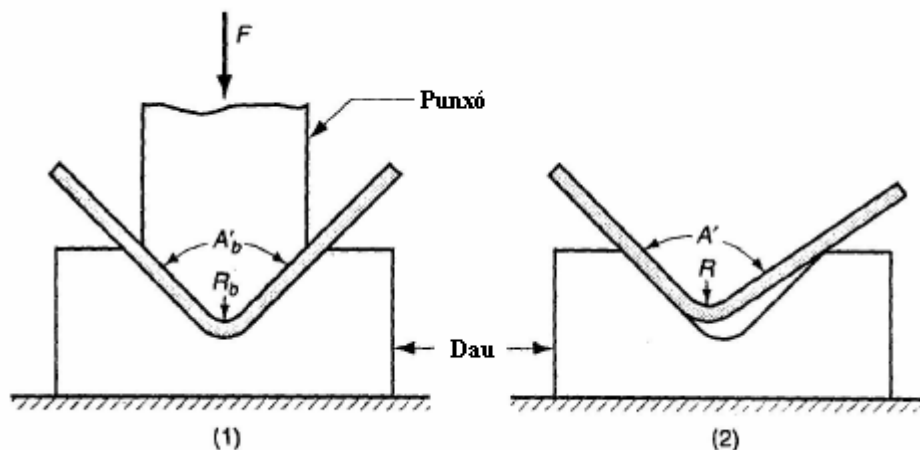
$$SB = \frac{A' - A'_b}{A'_b}$$

On:

$SB$  = recuperació elàstica;

$A'$  = angle comprès per la làmina de metall, en graus;

$A'_b$  = angle comprès per l'eina de plegat, en graus.



La recuperació elàstica en el plegat es mostra com una disminució en l'angle de plegat i un increment del radi de  $R_b$ , plegat: (1) durant l'operació el treball és forçat a prendre el radi  $R_b$  i l'angle inclòs  $A'_b$ , ambdós estan determinats per l'eina de plegat (punxó de plegat en V); (2) una vegada que es retira el punxó, el material torna al radi  $R$  i a l'angle inclòs  $A'$ . El símbol  $F$  = força de plegat aplicada.

Fig 3.166 Recuperació elàstica en el plegat

Encara que no tan obvi, ocorre un increment en el radi de plegat a causa de la recuperació elàstica. La magnitud de la recuperació elàstica s'incrementa pel mòdul d'elasticitat  $E$  i la resistència a la fluència  $Y$  del metall de treball.



Es pot assolir una compensació per a la recuperació elàstica per diversos mètodes. Dos mètodes comuns són el sobreplegat i el fondejat. En el sobreplegat, l'angle del punxó i el seu radi es fabriquen lleugerament menors que l'angle especificat en la part final, de manera que la làmina torni al valor desitjat. El fondejat involucra comprimir la part al final de la carrera deformant-la plàsticament en la regió de plegat.

### 3.3.6.2.5 Força de plegat

La força que es requereix per a realitzar el plegat depèn de la geometria del punxó i del dau, així com de la resistència, espessor i ample de la làmina de metall que es plega. La força màxima de plegat es pot estimar per mitjà de la següent equació, basada en el plegat d'una biga simple:

$$F = \frac{K_{bf} T S w t^2}{D}$$

On:

$F$  = força de plegat, (N);

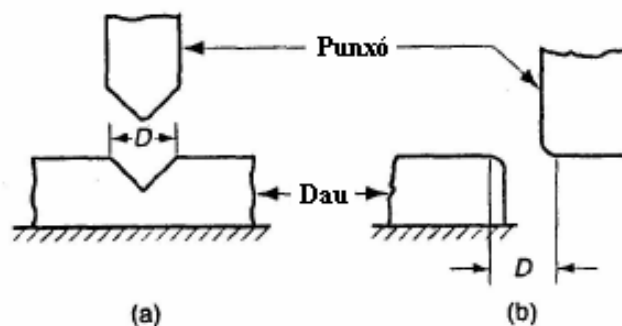
$TS$  = resistència a la tensió del metall en lamina, (MPa);

$w$  = ample de la peça en la direcció de l'eix de plec, (mm);

$t$  = espessor del material o la part, (mm);

$D$  = dimensió del dau obert en (mm), com es defineix en la figura de baix.

En mecànica, l'equació anterior es basa en el plegat d'una biga simple, i  $K_{bf}$  és una constant que considera les diferències per a un procés real de plegat, El seu valor depèn del tipus de plegat; per a plegat en V,  $K_{bf} = 1.33$  i per a plegat de vores,  $K_{bf} = 0.33$ .



(a) dau en V, i (b) dau lliscant.

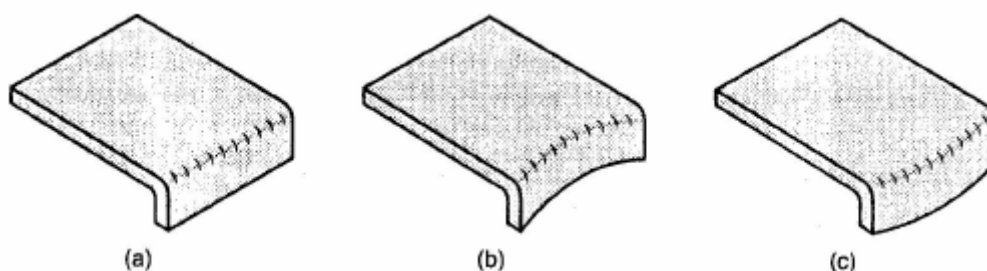
Fig 3.167 Dimensió de l'obertura del dau  $D$

### 3.3.6.3 Altres operacions de plegat

Es disposa d'altres operacions de plegat addicional, a més de les de plegat en V i plegat de marges. Algunes d'aquestes involucren el plegat sobre eixos corbs en lloc d'eixos rectes, o tenen altres característiques que les diferencien de les operacions bàsiques descrites anteriorment.

#### 3.3.6.3.1 Format de brides, doblec, engalzat i vorejat

El format de brides és una operació en la qual el fil d'una làmina es plega en un angle de 90° per a formar un cantell, s'usa freqüentment per a reforçar o donar rigidesa a la peça de làmina metàl·lica. La vora es pot formar en un plec sobre un eix recte, com s'il·lustra en la figura posterior (a), o pot involucrar alguns estiraments o contraccions del metall com en les parts (b) i (c).



(a) bridat recte, (b) bridat estirat i (c) bridat contret.

*Fig 3.168 Format de brides*

El doblec involucra el plegat de la vora de la làmina sobre si mateixa en més d'un pas de plegat. Això es fa freqüentment per a eliminar el fil agut de la peça. Per a incrementar la rigidesa i per a millorar la seva aparença. L'engalzat o entroncament és una operació relacionada en la que s'uneixen dos marges de làmines metàl·liques. El doblec i l'engalzat s'il·lustren en la figura de sota (a) i (b).

En el vorejat, també anomenat format de motlures, les vores de la part es produeixen en forma de rínxol o rotllo com es mostra en la figura (c). Tant aquesta operació com el doblec es fan amb fins de seguretat, resistència i estètica. Alguns exemples de productes en els quals s'usa el rivetat inclouen frontissos, olles, paells i caixes per a rellotges de butxaca. Aquests exemples demostren que el rivetat es pot executar sobre eixos rectes o corbs.

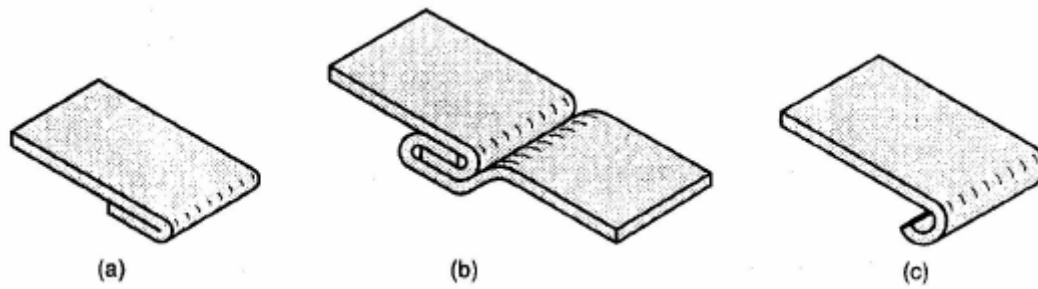
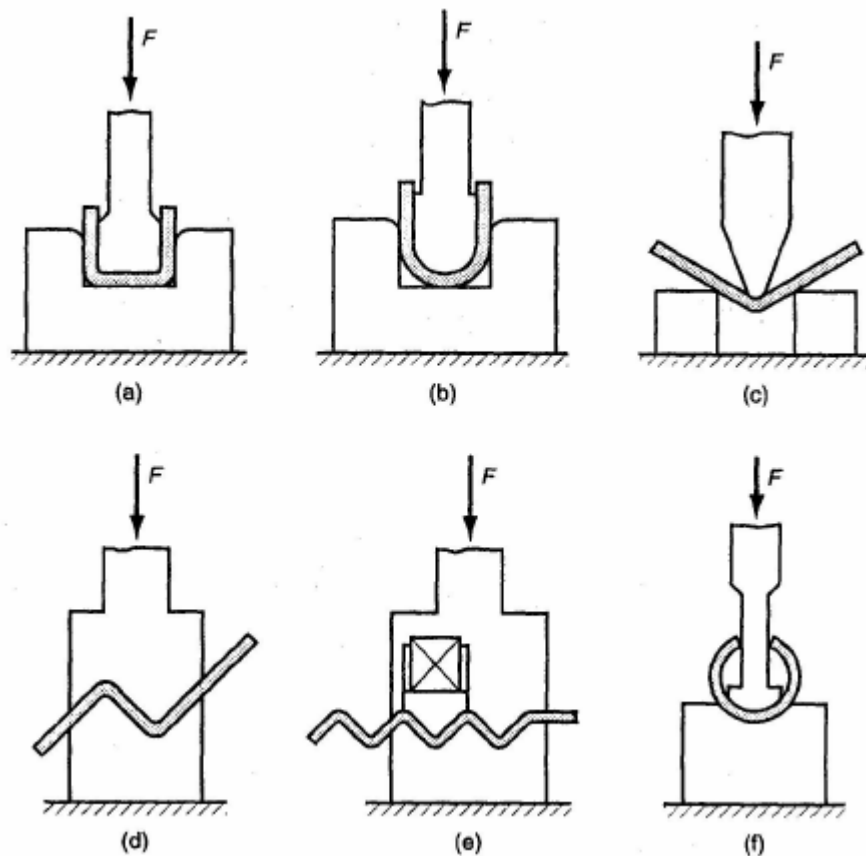


Fig 3.169 (a) Doblec, (b) agrafat (entroncament) i (c) vorejat.

### 3.3.6.3.2 Operacions miscel·lànies de plegat

En la figura següent es mostren algunes altres operacions de plegat per a il·lustrar diverses formes en les quals es pot plegar una làmina. La majoria d'aquestes operacions es realitzen en daus relativament simples i similars als daus en V.



(a) plegat en canal, (b) plegat en U, (c) plegat a l'aire, (d) plegat escalonat, (e) corrugat i (f) format de tub.  $F$  = força aplicada.

Fig 3.170 Operacions miscel·lànies de plegat

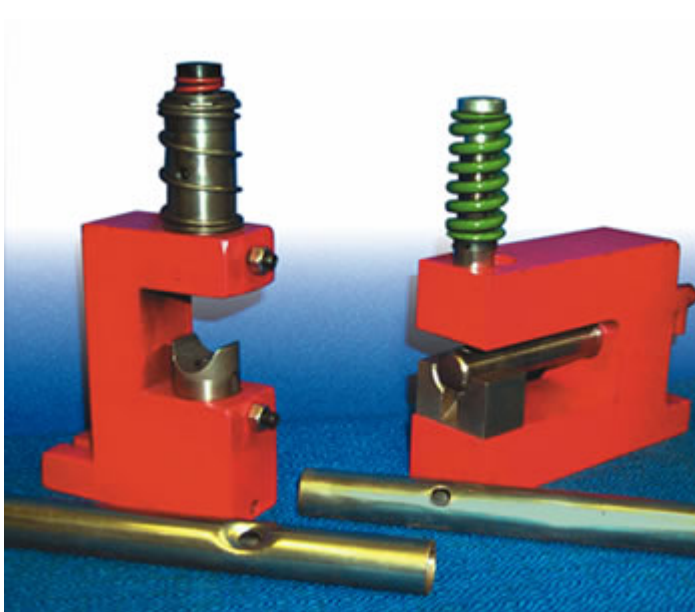
### 3.3.7 Producció de forats en tubs

La producció de forats en tuberies amb els útils de les premses es pot dividir en dos processos principals: penetració i punxonat.

#### 3.3.7.1 La penetració de tubs

La penetració de tubs és diferent del punxonat tradicional en que no s'utilitza una matriu en el superfície inferior del material. En lloc d'això, les guies externes encapsulen el tub per a mantenir consistència en les seves dimensions exteriors.

Una vegada que les guies es col·loquen completament al voltant del tub, un punxó que surt de la guia superior pressiona la paret del tub. Així, abans que el punxó hagi foradat el tub, s'estira el material pel que la seva elasticitat permet produir un clot al voltant del forat.



*Fig 3.171 Exemples de tubs foradats*

Molts factors afecten la grandària i la forma del clot, incloent la grandària del forat, diàmetre del tub, característiques dels materials, i gruixut del material. Per exemple, un forat de 0.25 polzades de diàmetre en un tub d'acer de 1 polzada de gruix de paret i de 14 de diàmetre, produirà un clot moderat. No obstant això, si s'augmenta la grandària del forat o s'utilitza un tub més gran o un material més elàstic, la grandària del clot augmentarà probablement. Si el diàmetre del forat és relativament gran comparat al diàmetre del tub, les parets del tub ajudaran a donar suport el material als dos costats del forat, donant per resultat un clot allargat. Típicament, aquests factors no poden ser controlats; són contingents en el disseny de la peça o del producte final.

Un altre factor que afecta la grandària del clot i que pot ser controlat és el disseny de la punta del punxó. Introduir un angle de tall en la punta del punxó redueix el requisit de la força i per tant dona lloc generalment a un clot més petit. Experimentar amb angles rectes, còncaus o convexas, pot ajudar a produir l'efecte que forma el clot desitjat. L'angle de tall ha d'anar paral·lel a la longitud del tub, i no contra ell, per a produir beneficis màxims.

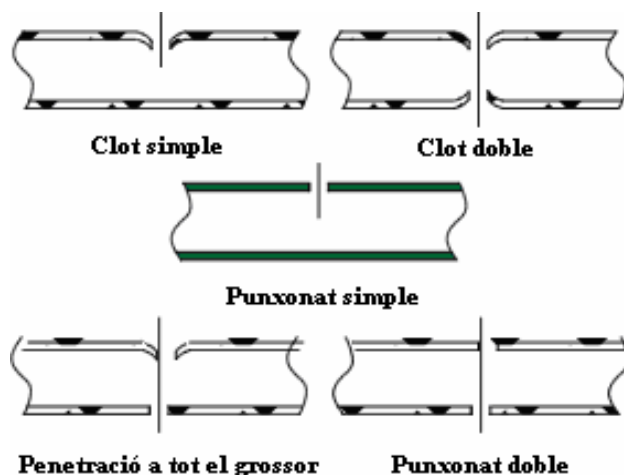


Fig 3.172 Els diferents mètodes de penetració i punxonat produeixen diferents condicions del forat

Tres tipus estàndard de penetració de tubs són:

- Clot simple.
- Clot doble.
- Penetració de tot el grossor.

**La penetració de clot simple**, que és el més comú, és el procés descrit prèviament.

**La penetració de clot doble** treballa com l'operació de clot simple, tret que un segon punxó s'introdueix en la guia inferior. Mentre que el punxó superior està avançant en el tub, el muntatge sencer de la guia, incloent el tub encapsulat, és forçat abaix contra el segon punxó, que es manté immòbil. Aquests punxons poden ser retirats per a canviar la grandària del forat o per a canviar a una operació del clot simple. Les guies també són permutables per a poder utilitzar una sola estació per a acomodar diferents grandàries de tub (vegi's la figura adjunta).

Per als usos que requereixen un forat formant clots en un costat del tub i un forat net en l'altre, es recomana **la penetració de tot el grossor**. Com amb les operacions de clot simple i doble, el tub és afermat en el seu lloc per guies superiors i inferiors. La diferència en aquest cas és que la guia inferior té un forat que treballa com matriu. Això permet al punxó, després que perfori la paret superior, continuar a través del tub i perforar un forat sense clot en la paret inferior.



Fig 3.173 Amb guies intercanviables una eina de penetració de tubs pot ser utilitzada tant per operacions de clot simple com de clot doble

Encara que aquest tipus de forat ofereix avantatges per a alguns usos, han de ser considerats alguns factors.

Una condició necessària en aquest tipus d'operació és que el forat inferior es perfora amb el material sobrant del forat superior encara pressionat contra la cara de l'extremitat del punxó. A causa d'això el forat del fons pot produir lleus rebabes, i la vida del punxó pot reduir-se. (Si s'utilitza un angle de tall bastant significatiu, el material de deixalla segueix de vegades unit a la paret superior del tub.)

Una segona condició necessària de la penetració de tot el grossor és que la longitud del principi fins a la punta del punxó ha de ser almenys igual que el diàmetre del tub. Aquesta condició també pot donar lloc a una vida curta del punxó, especialment si la punta del punxó té un diàmetre petit.

Una tercera condició necessària és la grandària del ressort que subjecta el punxó. La longitud i la força del ressort requerit per a fer sortir el punxó poden fer impracticable perforar tubs a través de tot el grossor de més de 1 polzada de diàmetre.

### 3.3.7.2 El punxonat de tubs

Quan es requereix en un tub un forat net (sense cap clot), s'utilitza una operació de punxonat del forat. En comptes de les guies externes que encapsulen el tub, s'utilitza un mandril internament per a aguantar la seva forma. El mandril conté un forat per al punxó que fa aquest procediment similar a les operacions de punxonat estàndard de material pla.

Amb aquesta eina, el punxó s'estén, comprimint el material contra el mandril i en última instància trencant-se a través del forat, que actua com superfície del tall. Ja que el mandril està donant suport l'interior del tub, l'efecte que forma clots de la penetració s'elimina.

Aquesta operació introdueix més variables que necessiten ser considerades. Primer, la grandària del mandril és crítica. Per a produir un forat net sense clot i mantenir la consistència de la forma del tub, la grandària del mandril ha d'estar tan a prop com sigui possible al diàmetre interior del tub. Típicament, un mandril ha de ser 0.001 polzades més petit que el diàmetre interior més petit que sigui permès per les toleràncies de la producció del tub.



Fig 3.174 Punxonat de tubs

Això introdueix dos factors més. Com el mandril té un ajustament tan exacte, els extrems del tallat de la longitud de la canonada han de ser constants i lliures de rebabes. A més, si el tub té una costura soldada, el mandril necessitarà disposar d'una ranura o un pla per acomodar la costura. Per descomptat, com més material es treu del mandril, més feble arriba a ser, així que això ha de ser minimitzat al màxim.



La segona variable important és la força del mandril. La incorporació del forat per a la penetració del punxó en el mandril implica necessàriament l'extracció de material. Com més gran és el forat que es perfora en relació a la grandària del tub, més feble arriba a ser el mandril. Això limita la grandària del forat que pot ser perforat, però no hi ha una fórmula simple per a determinar quin és aquest límit.

Molts factors ocupen un paper en la determinació de la grandària màxima del forat per a un tub donat: si el tub és rodó o quadrat, força del material, gruix de paret, i angle de tall, per a nomenar alguns. Una pauta aspra és que la grandària del forat no ha d'excedir el 50 per cent del diàmetre interior del tub; no obstant això, en alguns usos extrems, aquest quocient s'ha augmentat fins al 75 per cent. Sovint les millors guies al considerar si els usos extrems són convenients són l'experiència, l'assaig i error, i el sentit comú.

En la majoria dels casos s'ha d'utilitzar un suport per al tub per a prevenir la desviació del mandril durant el procés de la perforació o de la contracció del punxó. En els usos que utilitzen un diàmetre gran o un mandril curt (normalment 1 polzada o menys), aquestes característiques poden no ser necessàries.

Com en la penetració, el punxonat de tubs pot ser subcategoritzat en:

- Punxonat simple.
- Punxonat a tot el grossor.
- Punxonat doble.



*Fig 3.175 Una eina de punxonat simple pot produir forats múltiples amb un pern de subjecció*

**El punxonat simple** ja ha estat descrit. Quan una sola estació de punxonat produeix forats a través de tot el grossor o forats múltiples, es pot emprar un pern per a situar el tub per als forats següents col·locant-lo en els forats prèviament perforats (vegi's la figura del costat).

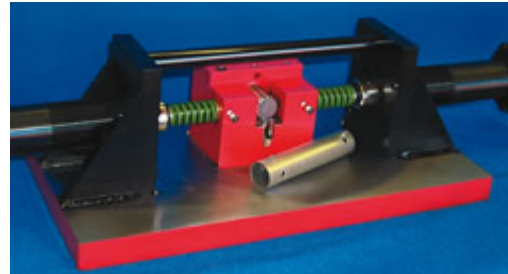
Quan la velocitat és important en aplicacions de punxonat a tot el grossor, com passa en la producció de grans quantitats, el punxonat a tot el grossor o el punxonat doble pot ser més eficient que la recol·locació.

**El punxonat de tot el grossor** treballa més o menys igual que la penetració a tot el grossor i està subjecte a les mateixes consideracions de manteniment i de desgast de l'eina. En aquest cas el punxó, després de produir el forat en la paret superior del tub, continua a través del mandril perforant el forat inferior comprimint i penetrant la paret inferior del tub contra un forat situat en la base.



Encara que el punxonat a través de tot el grossor és una opció viable, a causa del desgast i el manteniment creixents de l'eina, el punxonat doble sovint s'utilitza en lloc d'aquest. **El punxonat doble** utilitza dos punxons horitzontals oposats. El procés es realitza en una premsa convencional amb un punxó que acciona la lleva o amb un muntatge manipulats de la disposició hidràulica o de cilindres d'aire-oli. Els cilindres completen el cicle simultàniament, produint el forat passant en un cicle. El material extret cau a través d'un canal inclinat en el fons del mandril o es duu cap a fora a una secció situada en la part frontal.

Amb aquest procés, usar cilindres curts elimina punts de subjecció, redueix els problemes de desgast i de manteniment de l'eina, i produeix durades de cicle de fins a només un cicle per segon (vegi's figura adjunta).



*Fig 3.176 Una estació de punxonat doble utilitza dos cilindres d'aire-oli per produir forats passants nets, sense clot.*

### 3.3.7.3 Comparació entre les operacions de penetració i punxonat de tubs

El mètode triat per a fer un forat en un tub depèn de molts factors:

- Ús. L'assentament d'un cap de cargol, per exemple, requereix un forat que formi clots; els tubs telescòpics requereixen un forat net.
- Cost. La penetració simple i doble són els mètodes menys costosos. Normalment, una estació de penetració simple costa entre un 25 i un 50 per cent menys que una estació de punxonat simple.
- Seguretat. La naturalesa del procés de penetració requereix que hagi un punt de subjecció almenys tan gran com el diàmetre del tub. El punt de subjecció en aplicacions de punxonat es redueix sovint molt més, resultant una operació més perillosa.
- Flexibilitat. En la penetració i el punxonat, punxons, guies, mandrils, i blocs d'ajuda es poden intercanviar per acomodar diverses grandàries de tubs i de forat (vegi's la figura del costat). No obstant això, el punxonat està naturalment limitat quant al lloc on un forat pot ser produït. Els mandrils no poden arribar a una corba o viatjar a través de seccions estampades d'un tub. Amb algunes excepcions, la penetració pot produir un forat en qualsevol lloc d'un tub.



*Fig 3.177 Eines utilitzades en la perforació de tubs*

### 3.3.8 Acabats d'extrems de tubs

Sovint a les extremitats de tubs o canonades s'efectuen diferents operacions per a aconseguir diferents formes o acabats. Aquests processos poden tenir diverses finalitats, com poden ser la realització d'unions amb altres tubs o altres peces, crear canvis de direccions en canonades o simplement per aconseguir un millor aspecte en tubs de sortida de fluids.

Com a exemple al quadre següent es poden observar diferents tècniques emprades en extrems de tubs.

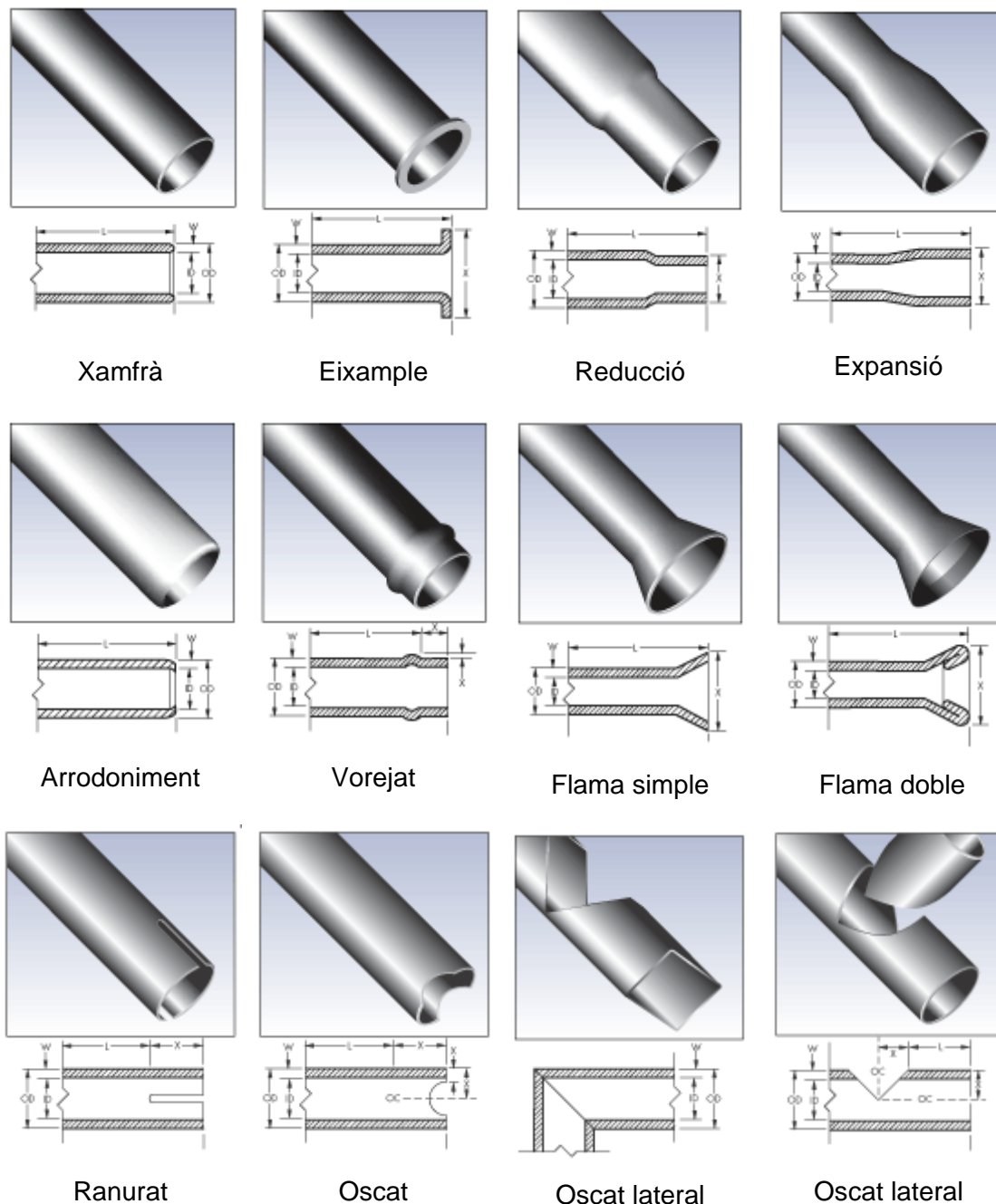
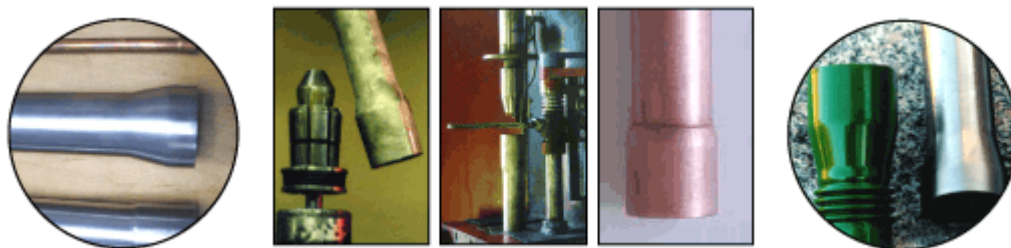


Fig 3.178 Diferents acabats en extrems de tubs

### 3.3.8.1 Expansió d'extrems de tubs

Es pot arribar a l'ampliació de l'extrem per dos mètodes diferents: l'expansió per xoc o l'expansió segmentada.

El primer mètode simplement força un dau afilat en l'extrem del tub, i després el dau retrocedeix quan ha arribat a la longitud desitjada de l'extensió. El dau d'expansió que s'empra es dedica al diàmetre interior i a la longitud de l'expansió requerida i es limita solament a aquest específic diàmetre interior de tub.

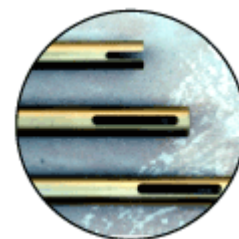


*Fig 3.179 Extrems de tubs expandits*

El segon mètode, expansió segmentada, es produeix posant l'extrem del tub sobre una sèrie de daus dividits en segments a l'estil de dits que s'amplien i hidràulicament amplien l'extrem del tub. Aquesta versió permet més flexibilitat ja que es pot ampliar una mica l'expansió si es continua l'extensió dels daus per a ampliar encara més l'expansió dintre d'una gamma específica. El disseny dels daus dictamina la gamma que un tub pot ser ampliat.

### 3.3.8.2 Ranurat d'extrems de tubs

El ranurat es pot aconseguir amb una premsa de punxonat, per mecanitzat, o amb una operació per làser depenent del detall necessari de les ranures i de l'ús al que vagin destinades les peces.



*Fig 3.180 Ranures en extrems de tubs*

Per a les aplicacions més bàsiques de tubs ranurats una operació en una premsa de punxonat és el mitjà ideal de fabricar la peça a causa de la seva rendibilitat. Aquest procés requereix un punxó de perforació que utilitzi un mandril o ajuda de certa manera per a crear la ranura. Les formes típiques inclouen una ranura recta (rectangular o quadrada), o una xavetera, travant la ranura que es corba cap a endins en el seu extrem. Aquest estil és d'ús general per a tubs telescòpics o per a col·locar la direcció d'un tub en un encaix durant l'acoblament.

Per als dissenys tubulars que són més intricats en forma, tingui una forma única, o tingui ranures múltiples que estiguin properes unes a altres, la peça pot requerir una operació de mecanitzat o amb làser per a produir les peces.

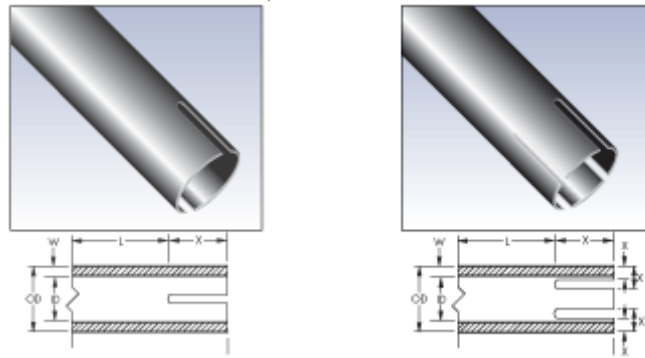


Fig 3.181 Tubs amb múltiples ranures a l'extrem

### 3.3.8.3 Arrodoniment d'extrems de tubs

És una operació que es realitza normalment amb una màquina especial que disposa de matrius per a diferents mesures de tubs per a realitzar l'acabament arrodonit. Consisteix en una operació de polit que deixa el cantell exterior de l'extrem del tub arrodonit.

Aquest procés s'utilitza normalment per aconseguir un acabament més vistós en extrems de tubs que s'han de situar en llocs on poden ser observats. Una de les aplicacions més comuns és en tubs de sortida de fluids o de gasos que estan a la vista dels usuaris.

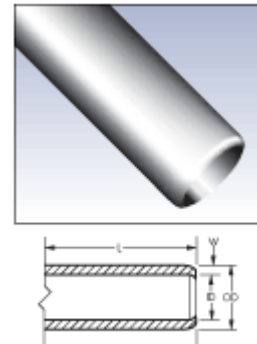


Fig 3.182 Extrem de tub arrodonit

## 3.3.9 Injecció de plàstic

### 3.3.9.1 La màquina d'injecció

Una màquina d'injecció és un equip capaç de plastificar el material polimèric i bombar-lo cap a un motlle on ompli una cavitat i adquireixi la forma del producte desitjat.

Una injectora es compon de quatre unitats principals:

- La unitat de tancament.
- La unitat d'injecció.
- La unitat de potència.
- La unitat de control.

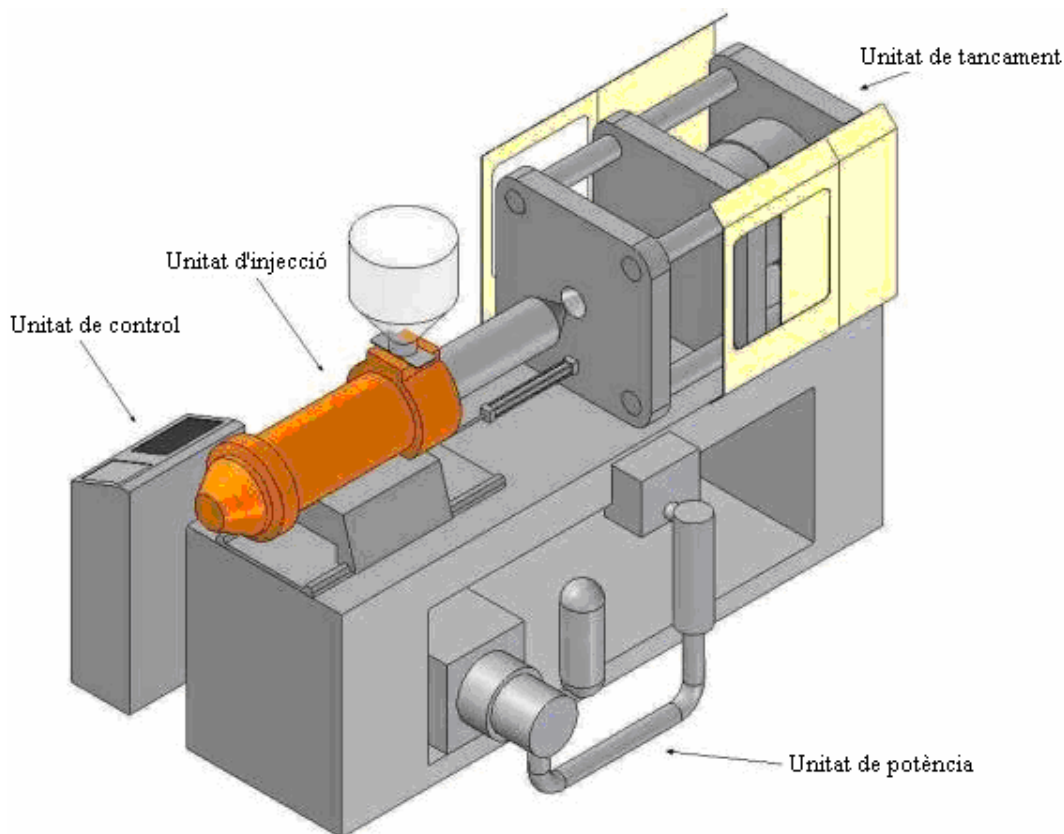


Fig 3.183 Màquina d'injecció de plàstic

#### 3.3.9.1.1 Unitat de tancament

Consisteix en una premsa conformada per dues plaques portamotllos, una mòbil i una altra fixa. El sistema d'accionament de la placa mòbil pot ser un mecanisme de palanques, accionat hidràulicament, un cilindre hidràulic o un sistema elèctric de vis sens fi accionat per un motor. El paràmetre fonamental per a dimensionar una unitat de tancament és la

seva força per a mantenir el motlle tancat. Usualment es dona aquest valor en tones. Altres paràmetres importants en una unitat de tancament són: la distància mínima entre plaques, la distància màxima d'obertura, les dimensions de les plaques i la distància entre columnes, la carrera del sistema d'expulsió. Aquestes dades s'utilitzen per a dimensionar els motlles.

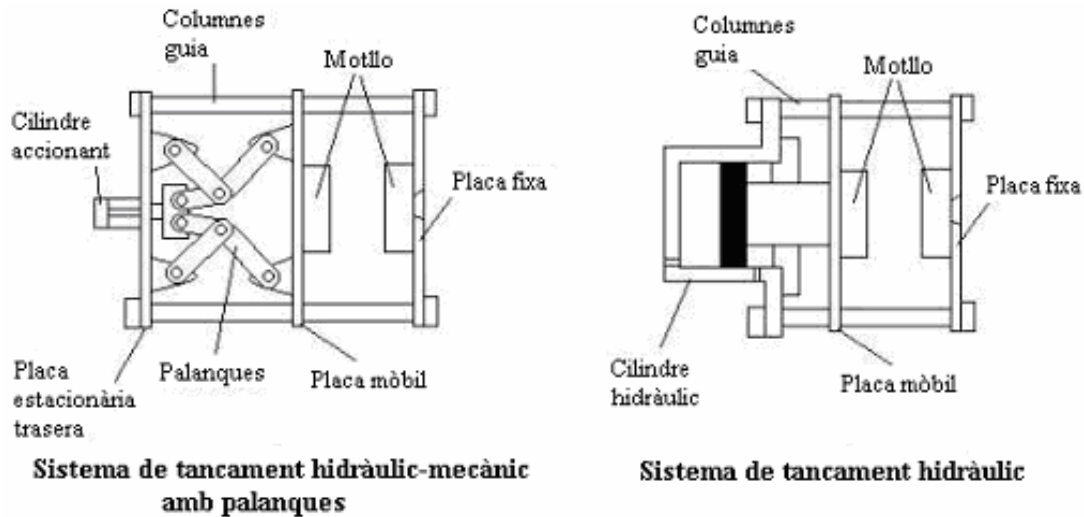


Fig 3.184 Diferents sistemes de la unitat de tancament

### 3.3.9.1.2 Unitat d'injecció

La unitat d'injecció està conformada pel cargol i el barril d'injecció, el filtre i les resistències al voltant del barril. El material sòlid ingressa per la tremuja a la zona d'alimentació del cargol, en aquesta zona és transportat, per efecte de la rotació del cargol dintre del barril, cap a la zona de fusió on es plastifica; finalment el material és bombat cap a la part davantera del cargol en la zona de dosificació. Durant el procés de plastificació del material el cargol gira constantment. Quan es va a realitzar la injecció cap al motlle, el cargol deixa de girar i actua a manera de pistó, fent fluir el plàstic fos cap al motlle i omplint les cavitats.

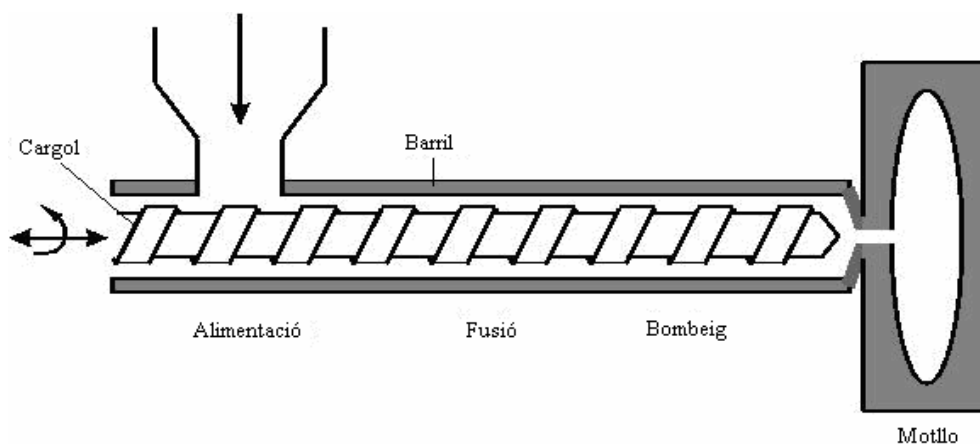


Fig 3.185 Unitat d'injecció



És ben sabut que la conductivitat tèrmica dels plàstics és molt inferior a la dels metalls, pel que el seu processament ha de fer-se en capes primes perquè la transferència de calor sigui el més ràpida possible i sostenible econòmicament. Això s'assoleix aprofitant el fenomen de plastificació, que consisteix en la fusió de la capa de material directament en contacte amb la superfície del barril, la qual transmet la calor, per convecció forçada, al material sòlid en les capes inferiors fins que es plastifica completament la massa de material.

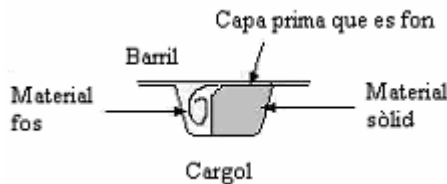


Fig 3.186 Fenòmen de plastificació

En les injectores comercials aproximadament un 50% de la calor requerida per a fondre el material l'aporta la fricció viscosa, generada pel gir del cargol amb el barril, i l'altre 50% ho aporten les resistències elèctriques.

### 3.3.9.1.3 La unitat de potència

És el sistema que subministra la potència necessària per al funcionament de la unitat d'injecció i de la unitat de tancament. Els principals tipus de sistemes de potència es poden classificar com.

- Sistema de motor elèctric amb unitat reductora d'engranatges.
- Sistema de motor hidràulic amb unitat reductora d'engranatges.
- Sistema hidràulic directe.

#### Sistema de potència elèctric

El sistema elèctric s'utilitza generalment en màquines relativament petites. Aquest sistema s'emptra tant per al gir del cargol com per a l'obertura i tancament del motlle. La màquina empra dos sistemes mecànics d'engranatges i palanques en colze, un per al tancament del motlle i altre per al cargol. Cadascun accionat per un motor elèctric independent. L'accionament del cargol quan realitza la injecció l'executa un cilindre hidràulic. En els sistemes amb motor elèctric, la velocitat pot ajustar-se només en un determinat nombre de valors, la qual cosa pot ocasionar problemes en la reproducció de paràmetres d'operació i dificultar l'obtenció de peces amb una qualitat constant. Els motors elèctrics generen grans parells d'arrencada, pel que ha de tenir-se precaució al usar cargols amb diàmetres petits per a evitar que es trenquin.



## Sistema de potència hidràulic

Els motors hidràulics són els més comunament utilitzats, el seu funcionament es basa en la transformació de la potència hidràulica del fluid en potència mecànica. A diferència dels sistemes electromecànics, on la potència és transmesa a través d'engranatges i palanques, en un sistema amb fluids aquests elements es substitueixen, parcial o totalment, per canonades de conducció que duen el fluid a pressió als pistons d'injecció i de tancament del motlle. El fluid que més s'utilitza és l'oli degut, principalment, a les seves propietats lubricants en aplicacions que involucren grans càrregues. En els sistemes hidràulics és comú utilitzar pressions que varien entre els 70 i 140 kg/cm<sup>2</sup>. Els avantatges del motor hidràulic pel que fa a l'elèctric poden resumir-se principalment en:

- Fàcil variació de velocitats, regulant el volum de fluid.
- La relació entre el parell i la velocitat és aproximadament lineal. El límit de parell determina per la pressió limitant i el parell d'arrencada és aproximadament igual al de funcionament.
- Permet relacions baixes de pes potència, el que possibilita arribar a altes velocitats d'injecció del material.

### 3.3.9.1.4 La unitat de control

Aquest sistema bàsicament conté un controlador lògic programable (PLC) i controladors PID per a les resistències elèctriques del barril i del filtre. El PLC permet programar la seqüència del cicle d'injecció i rep senyals d'alarma, per sobrepressió o finals de carrera, per a detenir el cicle. Els controladors PID són els més adequats per al control de temperatura a causa de la seva elevada velocitat de resposta per a mantenir la temperatura als nivells requerits.

### 3.3.9.1.5 Paràmetres d'una injectora

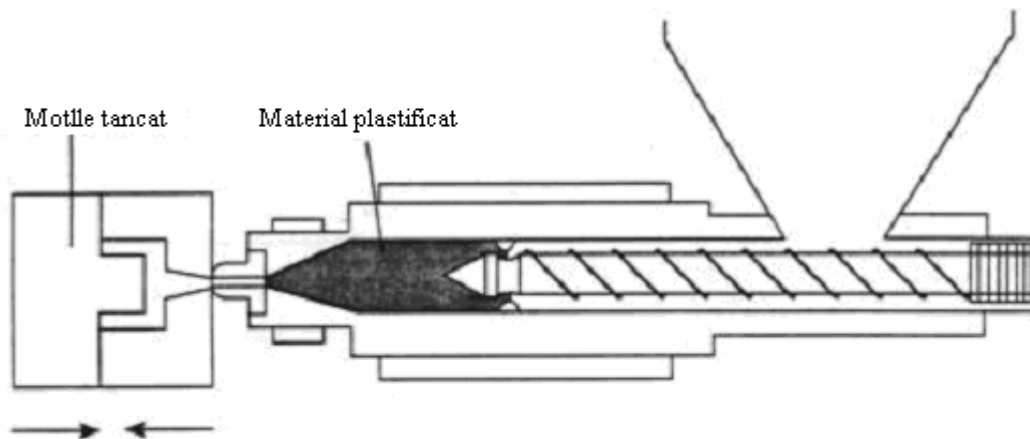
Les principals característiques utilitzades per a dimensionar i comparar màquines injectores són:

- Capacitat o força de tancament: usualment es dona en tones
- Capacitat d'injecció: és el volum de material que és capaç de subministrar la màquina en una injecció (cm<sup>3</sup>/injecció). És comú donar aquest valor en grams, prenent com referència la densitat del poliestirè.
- Pressió d'injecció: és la pressió màxima a la qual pot bombar la unitat d'injecció el material cap al motlle. Usualment es treballa a un 60% d'aquesta pressió o menys.
- Capacitat de plastificació: és la quantitat màxima de material que és capaç de subministrar el cargol, per hora, quan plastifica el material; es dona en kg/h.
- Velocitat d'injecció: és la velocitat màxima a la qual pot subministrar la unitat d'injecció el material cap al motlle; es dona en cm<sup>3</sup>/s .

### 3.3.9.2 El cicle d'injecció

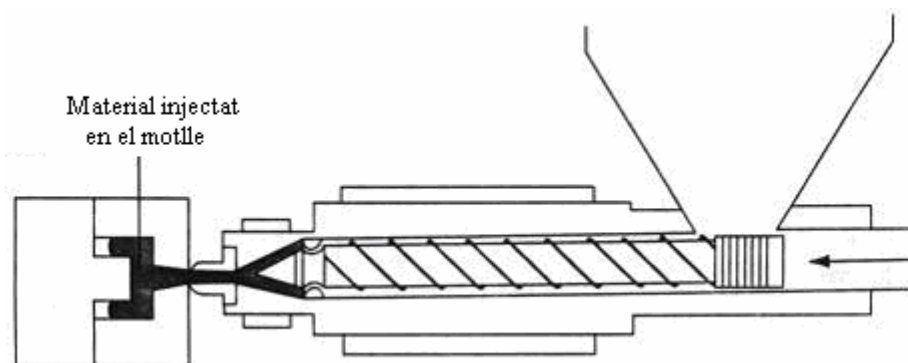
El cicle d'injecció es pot dividir en les sis següents etapes:

1. Es tanca el motlle buit, mentre es té preparada la quantitat de material fos per a injectar dintre del barril. El motlle es tanca en tres passos: primer amb alta velocitat i baixa pressió, després es disminueix la velocitat i es manté la baixa pressió fins que les dues parts del motlle fan contacte, finalment s'aplica la pressió necessària per a arribar a la força de tancament requerida.



*Fig 3.187 Tancament del motlle i inici de la injecció*

2. El cargol injecta el material, actuant com pistó, sense girar, forçant el material a passar a través del filtre cap a les cavitats del motlle amb una determinada pressió d'injecció.



*Fig 3.188 Injecció del material*

3. Al acabar d'injectar el material, es manté el cargol endavant aplicant una pressió de sosteniment abans que es solidifiqui, amb la finalitat de contrarestar la contracció de la peça durant el refredament. La pressió de sosteniment, usualment, és menor que la d'injecció i es manté fins que la peça comença a solidificar-se.

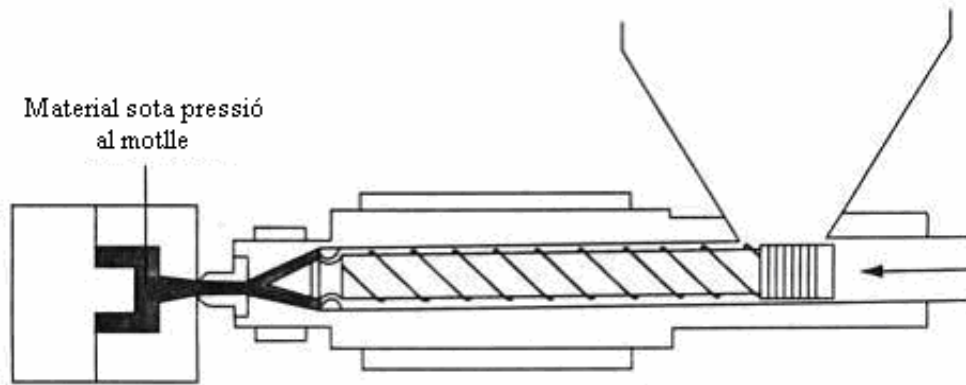


Fig 3.189 Aplicació de la pressió de sosteniment

4. El cargol gira fent circular els grànuls de plàstic des de la tremuja i plastificant-los. El material fos és subministrat cap a la part davantera del cargol, on es desenvolupa una pressió contra el filtre tancat, obligant al cargol a retrocedir fins que s'acumula el material requerit per a la injecció.

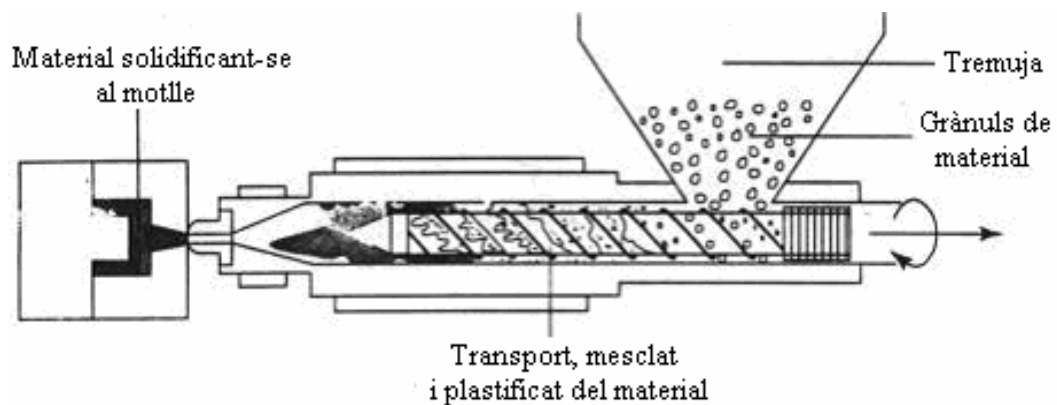


Fig 3.190 Plastificació del material

5. El material dintre del motlle es continua refredant on la calor és dissipada pel fluid refrigerant. Una vegada acabat el temps de refredament, la part mòbil del motlle s'obre i la peça és extreta.

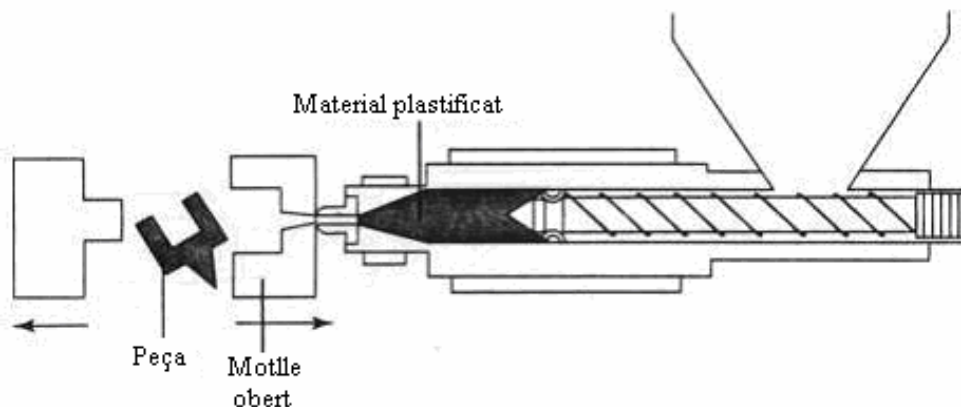


Fig 3.191 Refredament y extracció de la peça

6. El motlle es tanca i es reinicia el cicle.

Quant al consum de potència en cadascuna de les etapes del cicle, s'observa que en el tancament del motlle tot just es requereix la potència necessària per a vèncer la fricció generada al desplaçar la placa mòbil. L'etapa d'injecció necessita la potència màxima durant un període molt curt. El desplaçament de la unitat d'injecció i l'obertura del motlle requereixen molt poca potència. En el següent diagrama s'esquematitza el consum de potència durant el cicle d'injecció.

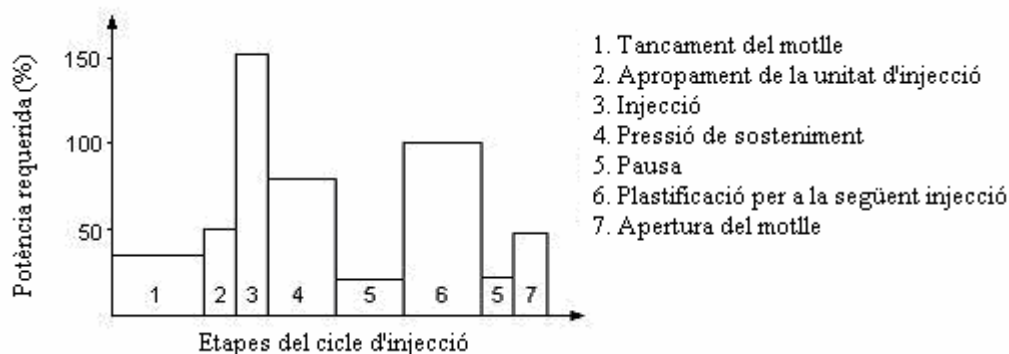


Fig 3.192 Consum de potència durant el cicle d'injecció

### 3.3.9.3 Duració del cicle d'injecció

El temps que triga un cicle d'injecció, permet establir el cost i rendibilitat d'una producció.

El tancament i obertura del motlle consumeixen el mateix temps. La suma d'aquestes etapes és el temps de cicle en buit, que és una constant de la màquina i la indica el fabricant; d'igual manera, el fabricant assenyala el nombre màxim de cicles en buit per minut.

El temps total del cicle es compon del temps en buit ( $t_v$ ), el temps d'injecció ( $t_i$ ), el temps d'aplicació de la pressió de sosteniment ( $t_p$ ), el temps de plastificació ( $t_r$ ) i el temps de solidificació o refredament ( $t_s$ ).

- Temps d'injecció( $t_i$ ): També es denomina temps d'omplert del motlle, és el temps necessari per a que el material passi del barril a les cavitats en el motlle. Aquest temps pot abastar entre el 5 i el 30% del temps de cicle total.

Per a calcular  $t_i$ , es requereix conèixer el volum que pot desplaçar la màquina per segon o sigui la velocitat d'injecció, que és indicada pel fabricant de la màquina. En alguns casos la velocitat d'injecció és indicada en grams de poliestiré. Per a conèixer la capacitat d'injecció amb un altre material, es determina així:

$$\text{Velocitat d'injecció per un altre material (g/s)} = \text{Vel. d'inj. PS} * \frac{\text{Densitat altre material}}{\text{Densitat del PS}}$$

$t_i$  es pot estimar així:

$$t_i (s) = \frac{\text{Pes de la(es) peça(es) (g)}}{\text{Velocitat d'injecció (g/s)}}$$

Bown, a *Injection Molding of Plastics components*, McGraw-Hill, UK, 1979, mostra resultats experimentals en els quals  $t_i$  es relaciona amb l'espessor i altres característiques geomètriques de la peça i de factors adimensionals dependents de la temperatura del fos, de la temperatura del motlle i de la temperatura de deflexió sota càrrega (HDT).

$$t_i (s) = \frac{(S F_m F_l)^3}{8 (T_x - T_m / T_c - T_m)^3}$$

On:

S : Espessor de paret mínim de la peça (cm)

F<sub>m</sub>: Recorregut màxim del fos des de l'entrada al motlle (cm)

F<sub>l</sub>: Relació entre el recorregut de flux i l'espessor de paret per al material a injectar

T<sub>x</sub>: Temperatura de distorsió sota càrrega, HDT, del material (°C)

T: Temperatura del motlle (°C)

T<sub>c</sub>: Temperatura del fos (°C)

Ha d'observar-se que aquesta relació és deduïda suposant que el material comença a solidificar-se al entrar en contacte amb les parets de la cavitat del motlle, reduint així, a poc a poc, l'àrea a través de la qual pot circular el material fos que va entrant. Per la qual cosa, si s'augmenta la temperatura del motlle major serà el temps d'injecció, doncs major temps es requerirà perquè el material es solidifiqui.

- Temps de pressió de sosteniment( $t_p$ ): En aquesta etapa el que es busca és compensar la contracció que sofreix el material durant la solidificació, per a evitar rexups i distorsions pronunciades de la peça. No existeix una manera analítica d'estimar aquest temps, pel que en la pràctica el que es fa és determinar amb prova i error, el  $t_p$  adequat perquè el producte surti amb la qualitat desitjada; això és, sense distorsions inadmissibles o amb les dimensions dintre de la tolerància permesa. No es justifica mantenir la pressió de sosteniment durant tot el temps de solidificació de la peça doncs això fa augmentar el temps de cicle i la despesa d'energia.
- Temps de solidificació o de refredament ( $t_s$ ): Aquest temps transcorre entre el final de l'aplicació de la pressió de sosteniment i el començament de l'obertura del motlle. En aquest temps s'ha d'assegurar que el material ha solidificat i que al extreure la peça, no es distorsionerà.  $T_s$  és el temps més llarg del cicle, arribant a ser entre el 50 i el 85% del temps total. La següent fórmula pot ser utilitzada per a determinar teòricament el temps de refredament:

$$t_s = \frac{-S^2}{2\pi\Phi} \ln \left[ \frac{\pi(T_x - T_m)}{4(T_c - T_m)} \right]$$

On:

$t_s$ : temps mínim de refredament (s)

S: espessor màxim de la peça (cm)

$\Phi$ : difusivitat tèrmica del material ( $\text{cm}^2/\text{s}$ )

$T_x$ : temperatura a la que s'extrau la peça (comunament s'usa la temperatura de distorsió sota càrrega, HDT, °C)

$T_m$ : temperatura del motlle (°C)

$T_c$ : temperatura del material fos (°C)

Ha d'anotar-se que aquest temps és teòric i només s'utilitza per a estimar el temps de refredament requerit; pel que el temps real haurà d'establir-se injectant la peça i mirant la seva qualitat.

Poden presentar-se dos tipus de cicles totals. El primer, en que l'etapa de solidificació acaba després o al mateix temps que la fase de plastificació, pel que el temps total del cicle ( $t_t$ ) serà:

$$t_t = t_v + t_i + t_s$$

Un altre cicle és en el que la fase de solidificació acaba abans que la fase de plastificació, on el temps total serà:

$$t_t = t_v + t_i + t_p + t_r$$

## 4 NORMES I REFERÈNCIES

### 4.1 Homologació del disseny

En aquest apartat s'expliquen tots els tràmits i proves que ha de passar un silenciós d'aquestes característiques per obtenir l'homologació CE. La Normativa que regeix l'homologació dels sistemes d'escapament és la *Directiva 70/157/CEE del Consell, de 6 de febrer de 1970, relativa a l'aproximació de les legislacions dels Estats membres sobre el nivell sonor admissible i el dispositiu d'escapament dels vehicles de motor*.

Aquesta Directiva està modificada per les següents directives: 73/350/CEE, 77/212/CEE, 81/334/CEE, 84/372/CEE, 84/424/CEE, 87/354/CEE, 89/491/CEE, 92/97/CEE, 96/20/CE i 99/101/CE.

Per les característiques del nostre disseny, s'aplicarà allò referent a *Silenciosos com a unitat tècnica independent (silenciosos d'escapament de recanvi)* (Annex 2 d'aquesta *Directiva 70/157/CEE*).

#### 4.1.1 Definicions

Segons la Directiva Europea, s'entén per silenciós de recanvi d'escapament “el conjunt d'elements necessaris per atenuar el soroll produït per l'escapament del motor del vehicle, la finalitat del qual és substituir en un vehicle un element del tipus homologat”.

#### 4.1.2 Sol·licitud de l'homologació CE

La sol·licitud d'homologació CE d'un silenciós de recanvi o dels components d'aquell dispositiu considerat com a unitat tècnica independent, serà presentada pel fabricant del vehicle o el fabricant de la unitat tècnica independent de que es tracti.

En la pàgina següent, figura el model de fitxa de característiques.

A petició del servei tècnic, el sol·licitant haurà de presentar:

- dues mostres del dispositiu per al que es sol·licita l'homologació CE,
- un silenciós d'escapament del tipus que duia inicialment el vehicle en el moment de la seva homologació CE,
- un vehicle representatiu del tipus en el que vagi a instal·lar-se el dispositiu.
- un motor per separat que correspongui al tipus de vehicle descrit anteriorment.

El silenciós de recanvi o els seus components, amb excepció de les peces de fixació i els tubs, hauran de dur:

- la marca de fabricació o comercial del fabricant del silenciós de recanvi i dels seus components;



- la denominació comercial del fabricant;

Aquestes inscripcions hauran de ser clarament llegibles i indelebles, fins i tot quan el dispositiu hagi estat muntat al vehicle.

Ficha de características no ..... para la homologación CE, como unidad técnica independiente, de dispositivos de escape de los vehículos de motor (Directiva 70/157/CEE, cuya última modificación la constituye la Directiva .../ ... /CE).

Si procede adoptar la información que figura a continuación, ésta se presentará por triplicado e irá acompañada de una lista de los elementos incluidos. Los planos, en su caso, se presentarán a la escala adecuada, suficientemente detallados y en formato A4 o doblados de forma que se ajusten a dicho formato. Las fotografías, si las hubiere, serán suficientemente detalladas.

Si los sistemas, componentes y unidades técnicas independientes tienen funciones controladas electrónicamente, se suministrará información relativa a sus prestaciones.

#### 0. Generalidades

0.1. Marca (razón social):

0.2. Tipo i denominación(es) comercial(es) general(es):

0.5. Nombre y dirección del fabricante:

0.7. Si se trata de componentes o unidades técnicas independientes, modo de colocación de la marca de homologación CE:

0.8. Dirección(es) de la(s) planta(s) de montaje:

1. Descripción del vehículo para el que está destinado el dispositivo (si éste está destinado para ser instalado en más de un tipo de vehículo, la información solicitada en este punto deberá facilitarse con respecto a cada uno de los tipos de que es trate)

1.1. Marca (razón social):

1.2. Tipo i denominación(es) comercial(es) general(es):

1.3. Medio de identificación del tipo del vehículo, si está marcado en éste:

1.4. Categoría de vehículo:

1.5. Número de homologación CE respecto al nivel sonoro:

1.6. Toda la información a que se refieren los puntos 1.1 a 1.5 del certificado de homologación respecto al vehículo (apéndice 2 del Anexo I de la presente Directiva):

#### 2. Descripción del dispositivo

2.1. Descripción del silencioso de repuesto en el que se indique la situación relativa de cada componente del dispositivo, junto con las instrucciones de instalación:

2.2. Esquemas detallados de cada componente, de manera que se puedan colocar y localizar fácilmente, y referencias de los materiales empleados. En los esquemas debe indicarse el lugar previsto para la colocación obligatoria de la marca de homologación CE:

Fecha, expediente

Fig 4.1 Model de fitxa de característiques

### 4.1.3 Homologació CE

Per tal que el silenciós pugui obtenir l'homologació CE, haurà d'acomplir amb totes les especificacions que a continuació es detallen:

**- Especificacions generals:**

El silenciós de recanvi o els seus components es dissenyaran, construïran i quedaran llestos per al muntatge de manera que, en condicions normals d'utilització i a pesar de les vibracions a què pugui estar sotmès, el vehicle satisfaci les prescripcions de la Directiva.

El silenciós o els seus components es dissenyaran, construïran i quedaran llestos per al muntatge de manera que ofereixin suficient resistència en front als fenòmens de corrosió a què estan exposats, tenint en compte les condicions d'utilització del vehicle.

El silenciós s'instal·larà al vehicle amb cura, i després es comprovarà, en particular, que cap part del dispositiu perdi líquid de manera perceptible.

**- Especificacions relatives als nivells sonors:**

L'eficàcia del silenciós de recanvi o d'un component d'aquest dispositiu es verificarà mitjançant els següents mètodes:

**- Mètode de mesura del nivell sonor del vehicle en marxa:**

*Naturalesa i nombre de mesures:*

El nivell sonor màxim expressat en decibels (dB) i ponderat (A), es mesurarà quan el vehicle transiti entre les línies AA' i BB' (veure figura 1). La mesura quedarà invalidada quan es registri un valor pic, que se separi de forma anormal del nivell sonor general.

Es duran a terme, com a mínim, dues mesures a cada costat del vehicle.

*Situació del micròfon:*

El micròfon haurà d'estar situat a  $7,5 \text{ m} \pm 0,2 \text{ m}$  de la línia de referència CC' (veure figura 1) de la pista i a  $1,2 \text{ m} \pm 0,1 \text{ m}$  del terra. El seu eix de sensibilitat màxima haurà de ser horitzontal i perpendicular al recorregut del vehicle (línia CC').

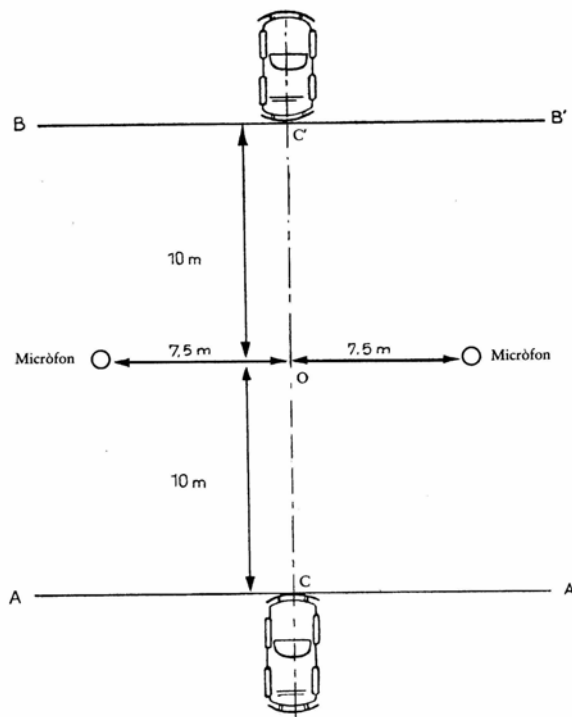


Fig 4.2 Posicions dels micròfons per a les mesures del vehicle en marxa

#### Condicions de conducció:

- Condicions generals:

Per a totes les mesures, el vehicle es conduirà en línia recta pel recorregut d'acceleració de tal manera que el pla longitudinal mitjà del vehicle estigui el més a prop possible de la línia CC'.

El vehicle s'aproximarà a la línia AA' a una velocitat inicial constant. En el moment en què l'extrem davanter del vehicle assoleixi la línia AA' es premerà l'accelerador a fons amb la major rapidesa possible i es mantindrà trepitjant a fons fins a que l'extrem posterior del vehicle assoleixi la línia BB' es deixarà anar l'accelerador amb la major rapidesa possible.

- Velocitat d'aproximació:

El vehicle s'aproximarà a la línia AA' a una velocitat constant corresponent a la menor de les dues velocitats següents:

- 50 km/h.
- Velocitat corresponent a un règim de gir del motor equivalent a tres quarts de aquella (S), a la que el motor desenvolupi la seva potència màxima, quan es tracta de vehicles de la categoria M1 (turismes).

Ara bé, si es tracta d'un vehicle equipat amb transmissió automàtica amb més de dues marxes discontinües, que durant la prova realitzada es produeix una reducció a la primera marxa, el fabricant pot seleccionar un dels dos procediments següents:

- Augmentar la velocitat, del vehicle fins a un màxim de 60 km/h per evitar aquesta reducció.
- Mantenir la velocitat, a 50 km/h limitant el subministrament de combustible del motor al 95% del necessari per a la seva capacitat màxima. Es considera que s'ha acomplert esta condició si es tracta d'un motor d'explosió quan l'angle d'obertura de l'accelerador sigui 90%; i si es tracta d'un motor de compressió, quan el moviment de la cremallera central de la bomba d'injecció estigui limitada al 90% del seu recorregut.

Si el vehicle està equipat amb una caixa de canvis automàtica sense selector manual, es provarà aquest en diferents velocitats d'aproximació: 30, 40 i 50 km/h o a tres quarts de la velocitat màxima en carretera, si aquest valor fos menor. El resultat de l'assaig serà el que s'obtingui de la velocitat que doni el nivell sonor màxim.

• Elecció de marxa (en vehicles amb caixa de canvis):

- Caixa de canvis no automàtica amb comandament manual:

Els vehicles de les categoria M1 (turismes) equipats amb una caixa de canvis de comandament manual que tingui un màxim de quatre velocitats de marxa cap endavant, es provaran amb la segona velocitat.

Els vehicles de les esmentades categories equipats amb una caixa de comandament manual que tingui més de quatre velocitats de marxa cap endavant, es provaran successivament amb la segona i tercera velocitat. Únicament s'hauran de tenir en compte les velocitats de transmissió globals destinades a una utilització normal en carretera. Es calcularà la mitjana aritmètica dels nivells sonors registrats per a cada una de les dues condicions.

Si durant la prova en segona velocitat, la velocitat del motor excedeix la velocitat S, a la que el motor assoleix la seva potència màxima, es repetirà la prova reduint la velocitat d'aproximació i/o la velocitat d'aproximació del motor per graus de 5% de S fins que la velocitat del motor no sigui ja superior a S.

Si s'assoleix la velocitat S del motor amb una velocitat d'aproximació del motor corresponent a la velocitat al ralenti, l'assaig es realitzarà solament en tercera velocitat i hauran d'avaluar-se els resultats corresponents.

Tanmateix, els vehicles de la categoria M1 (turismes) amb més de quatre velocitats de marxa cap endavant i equipats amb un motor que desenvolupi una potència màxima superior a 140 kW, i en els que la proporció potència màxima autoritzada/massa màxima superi els 75 kW/t, es podran provar amb tercera velocitat solament, sempre que la velocitat a la que la part posterior del vehicle traspassi la línia BB' en la tercera velocitat sigui superior a 61 km/h.

- Caixa de canvis automàtica amb selector manual:

S'haurà d'efectuar la prova amb el selector en una posició recomanada pel fabricant per a la conducció "normal". No es practicaran reduccions des de fora (per exemple, trepitjant l'accelerador a fons).

#### *Valors límit:*

El nivell sonor mesurat segons el mètode de mesura explicat per al vehicle en marxa no haurà de superar els 74 dB (A) quan es tracta de vehicles destinats al transport de persones, el nombre de seients dels quals no excedeixi de nou, incloent el corresponent al conductor.

No obstant:

- Per als vehicles d'aquesta categoria que estan equipats amb motor diesel d'injecció directa, el valor límit augmentarà 1 dB(A).
- Per als vehicles amb una massa màxima autoritzada superior a dues tones concebuts per ser utilitzats en tot terreny, el valor límit augmentarà 1 dB(A) si la potència del seu motor és inferior a 150 kW i 2 dB(A) si és de 150 kW o més.
- Per als vehicles d'aquesta categoria equipats amb una caixa de canvis manual amb més de quatre velocitats de marxa cap endavant i amb un motor de potència màxima superior a 140 kW, i en els que la relació potència màxima autoritzada/massa màxima superi els 75 kW/t, el valor límit s'augmentarà en 2 dB(A), si la velocitat a la que la part posterior del vehicle passa la línia BB' (veure figura 1) en tercera marxa és superior a 61 km/h.

#### *Interpretació dels resultats:*

Per tenir en compte les inexactituds dels aparells de mesura, el resultat de cada mesura s'obté restant 1 dB(A) al valor donat per l'aparell.

Les mesures es consideraran vàlides si la diferència entre dues mesures consecutives d'un mateix costat del vehicle no és superior a 2 dB(A).

La xifra que es tindrà en compte serà la més elevada de les mesures. En cas que aquest valor superi en 1 dB(A) el nivell màxim admissible per la categoria a la que pertany el vehicle sotmès a la prova, es procedirà a efectuar dues mesures més en la posició del micròfon corresponent. Tres dels quatre resultats així obtinguts per aquesta posició hauran de trobar-se dins dels límits prescrits.

- Mètode de mesura del nivell sonor del vehicle aturat:

*Naturalesa i nombre de mesures:*

El nivell sonor màxim expressat en decibels (dB) i ponderat (A), es mesurarà durant el període de funcionament del motor. De les condicions de funcionament del motor en parlarem més endavant.

Es duran a terme, com a mínim, tres mesures en cada punt de mesura.

Situació del micròfon(distàncies expressades en metres):

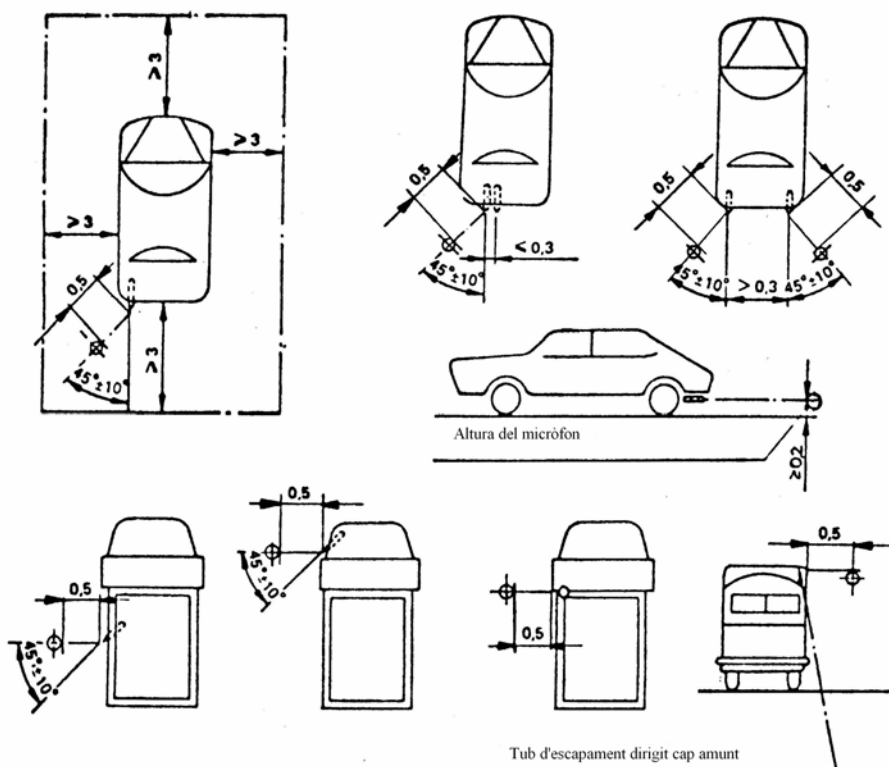


Fig 4.3 Emplaçament per a la prova i posicions del micròfon per a la mesura del vehicle aturat

El micròfon haurà d'estar situat a l'altura de l'orifici de sortida dels gasos d'escapament i, en cap cas, a menys de 0,2 m per sobre de la superfície de la pista. La membrana del micròfon s'orientarà cap a l'orifici d'escapament dels gasos i es situarà a una distància de 0,5 m del mateix. L'eix de màxima sensibilitat del micròfon serà paral·lel a la superfície de la pista i formarà un angle de  $45^\circ \pm 10^\circ$  amb relació al pla vertical que defineix la direcció de sortida dels gasos d'escapament.

El micròfon haurà d'estar situat del costat de l'esmentat pla vertical que deixi la major distància possible entre el micròfon i el contorn del vehicle.

Si el sistema d'escapament consta de diverses sortides, els centres de les quals no distin més de 0,3 m i estiguin connectades a un mateix silenciós, el micròfon haurà d'orientar-se cap a l'orifici més pròxim al contorn del vehicle o cap a l'orifici més alt respecte a la superfície de la pista. En els demés casos es duran a terme mesures diferents para cada sortida d'escapament i únicament es tindrà en compte el valor més elevat.

Per als vehicles proveïts d'una sortida d'escapament vertical (per exemple, vehicles comercials), el micròfon haurà d'estar situat a l'altura de l'orifici d'escapament, orientat cap a dalt i amb l'eix en posició vertical. Haurà d'estar situat a una distància de 0,5 m del costat del vehicle més pròxim a la sortida d'escapament.

Quan la forma del vehicle impedis col·locar el micròfon segons la figura 2 degut a la presència d'obstacles que formen part del vehicle (per exemple, roda de recanvi, dipòsit de carburant, caixa de la bateria), en el moment de la mesura es farà un dibuix que indiqui clarament la posició elegida per al micròfon. En la mesura del possible, el micròfon haurà d'estar a més de 0,5 m de l'obstacle més pròxim i el seu eix de sensibilitat màxima haurà d'estar projectat cap a l'orifici de sortida dels gasos des del lloc menys ocult pels obstacles anteriorment mencionats.

#### *Condicions de funcionament del motor:*

El regim de gir del motor serà constant a tres quarts de la velocitat de gir (S) en la qual el motor desenvolupa la seva potència màxima.

A l'assolir el règim constant, l'accelerador tornarà ràpidament a la posició de ralenti. El nivell sonor es mesurarà durant un període de funcionament que compregui un manteniment breu del règim constant així com tot el període de deceleració; el resultat de mesura vàlid serà el que correspongui a la indicació màxima del sonòmetre.

#### *Interpretació dels resultats:*

Els valors es prendran de l'aparell de mesura arrodonits al decibel sencer més pròxim.

Únicament es tindran en compte els valors obtinguts després de d'haver realitzat tres mesures consecutives i les diferències de les quals no siguin superiors a 2 dB (A).

El valor que es tindrà en compte serà el més elevat de les tres mesures.

Quan el silenciós de recanvi o d'un component d'aquest dispositiu estigui muntat al vehicle amb el que es realitza l'homologació, els valors del nivell acústic obtinguts segons els dos mètodes (vehicle aturat i en marxa) hauran de satisfer una de les condicions següents:



- No superar els valors obtinguts amb el tipus de vehicle al que es va concedir l'homologació CE;
- No superar els valors acústics mesurat en el vehicle amb el que es realitza l'homologació, quan a aquest se li instal·li un dispositiu d'escapament del tipus que tenia el vehicle en el moment de la seva homologació CE.

#### **- Mesura de les prestacions del vehicle:**

El silenciós de recanvi o els components d'aquest dispositiu hauran de garantir unes prestacions del vehicle comparables a les obtingudes amb el silenciós d'origen o un component d'aquest dispositiu.

El silenciós de recanvi o, segons l'elecció del fabricant, els components d'aquest dispositiu es compararan amb un silenciós d'origen o els components de l'esmentat dispositiu, igualment nous, muntats successivament al vehicle amb el que es realitza l'homologació.

La comprovació haurà de realitzar-se mitjançant la mesura de la pèrdua de pressió i en les condicions definides en els mètodes d'assaig que s'explicaran tot seguit. El valor obtingut amb el silenciós de recanvi no haurà de superar el 25% del valor obtingut amb el silenciós d'origen, en les condicions que es mencionen a continuació.

#### Mètodes d'assaig:

##### *Mètode d'assaig utilitzat amb el motor:*

Les mesures es realitzaran en el motor amb el que es realitza l'homologació, muntat en un banc dinamomètric.

Amb l'accelerador a fons, el banc haurà d'estar ajustat de tal manera que s'obtingui el règim de gir (S) corresponent a la potència màxima del motor.

Per a la mesura de la contrapressió, la presa de pressió haurà de col·locar-se amb respecte al col·lector d'escapament a la distància que s'indica en les figures 4, 5 i 6.

##### *Mètode de prova utilitzat amb el vehicle:*

Les mesures hauran d'efectuar-se en el vehicle amb el que es realitza l'homologació.

La prova haurà d'efectuar-se:

- en carretera, o
- en un banc dinamomètric de rodets.

Amb l'accelerador a fons, el motor haurà d'estar carregat de tal manera que s'obtingui el règim de gir (S) corresponent a la seva potència màxima.

Per a la mesura de la contrapressió, la presa de pressió haurà de col·locar-se amb respecte al col·lector d'escapament a la distància que s'indica en les figures a, b i c.

Figura a

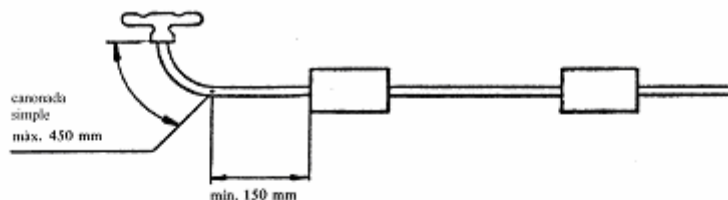


Figura b (\*)

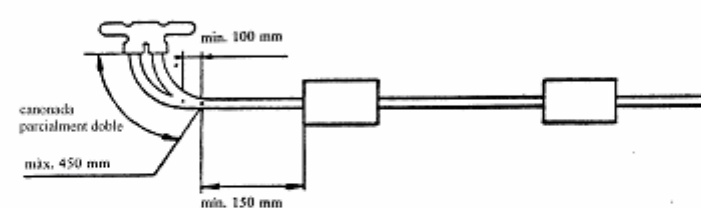
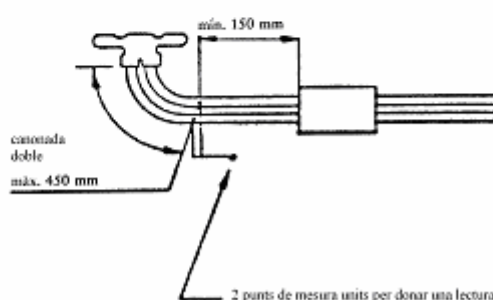


Figura c



(\*) En cas que no sigui possible, utilitzar la figura c.

Fig 4.4 Punts de mesura. Contrapressió dels gasos d'escapament

#### - Disposicions complementàries per quan els silenciosos o els seus elements vagin replets de materials fibrosos:

Els materials fibrosos només podran utilitzar-se en la fabricació de silenciosos de substitució o dels seus components si, a l'hora de dissenyar-los i produir-los, es prenen les mesures apropiades per garantir una eficàcia que permeti respectar els límits establerts pels nivells sonors del vehicle en marxa.

Un silenciós es considerarà eficaç en circulació si els gasos d'escapament no entren en contacte amb els materials fibrosos o si, després de retirar els materials fibrosos, el silenciós que es provi al vehicle conforme als mètodes descrits per al vehicle en marxa i aturat assoleix uns nivells acústics que concordin amb les prescripcions establertes en l'apartat *Especificacions relatives als nivells sonors*, ja explicat.

Si no es respectés aquesta condició, tot el dispositiu d'escapament es sotmetrà a un condicionament. Aquest es realitzarà mitjançant un dels tres mètodes descrits a continuació:

- Recorregut continu de 10.000 km per carretera:

Aproximadament la meitat d'aquest recorregut es realitzarà en circulació urbana, mentre que l'altra meitat es farà en recorreguts de llarga distància i a gran velocitat; el funcionament continu per carretera podrà substituir-se per un programa adequat en una pista de proves.

Es procurarà alternar repetides vegades els dos règims de velocitat.

El conjunt del programa de prova comprendrà un mínim de deu interrupcions de com a mínim tres hores, a fi de reproduir els efectes de refredament i possibles condensacions.

- Condicionament en un banc de prova:

El silenciós es col·locarà en el motor acoblat al fre dinamomètric, utilitzant accessoris de sèrie i tenint en compte les instruccions del fabricant del vehicle.

Les proves s'efectuaran en sis períodes de sis hores, amb interrupció de com a mínim dotze hores entre un període i un altre per reproduir els efectes de refredament i possibles condensacions.

Durant cada període de sis hores, el motor passarà successivament per les fases següents:

- 5 minuts al ralenti;
- 1 hora a de càrrega i del règim de potencia màxima (S);
- 1 hora a càrrega i del règim de potencia màxima (S);
- 10 minuts a plena càrrega i del règim de potencia màxima (S);
- 15 minuts a càrrega i règim de potencia màxima (S);
- 30 minuts a de càrrega i règim de potencia màxima (S).

Durada total de les sis fases: tres hores.

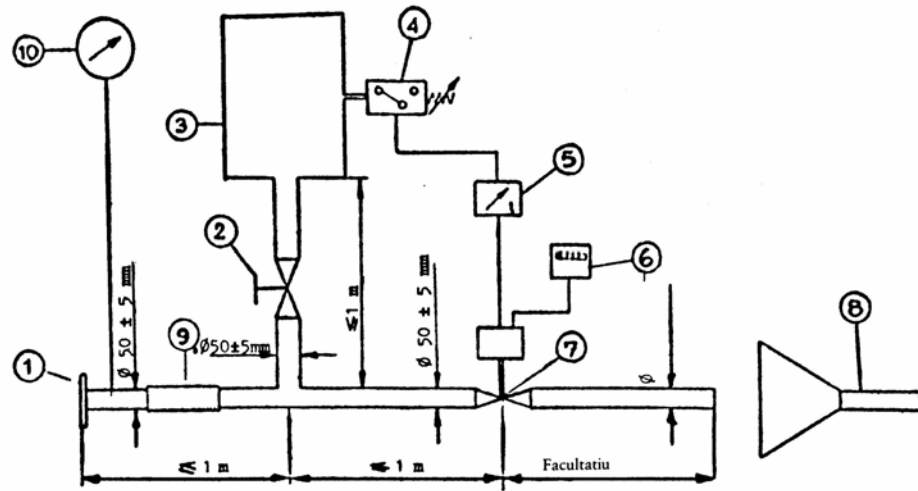
Cada període comprendrà dos grups de sis seqüències com les anteriors.

En el transcurs de la prova, no es refredarà el silenciós mitjançant corrent d'aire que simuli l'aireació normal al voltant del vehicle. Tanmateix, a sol·licitud del fabricant, s'autoritzarà un refredament del silenciós amb la finalitat de no sobrepassar la temperatura registrada a l'entrada del mateix quan el vehicle circuli a la seva velocitat màxima.

- Condicionament per pulsacions:

El dispositiu d'escapament o els seus components es muntaran al vehicle o al motor. En el primer cas, el vehicle es col·locarà en un banc de rodets. En el segon, el motor es muntarà en un banc dinamomètric.

L'equip de prova, l'esquema del qual es mostra detallat en la figura 3, es muntarà a la sortida del dispositiu d'escapament. Es podrà utilitzar un altre equip que aconsegueixi resultats equivalents.



1. Brida o boca d'entrada que haurà de connectar-se a la part posterior del silenciós d'escapament objecte de prova.
2. Vàlvula de regulació de comandament manual.
3. Dipòsit de compensació amb una capacitat de 35 a 40 l.
4. Interruptor polsador, abast operacional: de 0,05 a 2,5 bar.
5. Relé de temps.
6. Comptador de pulsacions.
7. Vàlvula de tancament ràpid, amb la vàlvula del fre d'estrangulació de l'escapament, d'un diàmetre de 60 mm i accionada mitjançant un cilindre pneumàtic capaç de desenvolupar una força de 120 N a una pressió de 4 bars. El temps de resposta, tant a l'obrir-se com al tancar-se, no excedirà de 0,5 s.
8. Aspiració del gas d'escapament.
9. Tub flexible.
10. Manòmetre.

Fig 4.5 Equip de prova per al condicionament per pulsacions

L'equip de prova estarà regulat de manera que la vàlvula de tancament ràpid interrompi i restableixi alternativament el pas dels gasos d'escapament durant 2500 cicles.

La vàlvula s'obrirà quan la contrapressió dels gasos d'escapament, mesurada, com a mínim, 100 mm més enllà de la brida d'entrada, assoleixi un valor comprès entre 0,35 i 0,40 bar. La vàlvula haurà de tancar-se quan la pressió no difereixi en més del 10% dels seu valor constant mesurat amb la vàlvula oberta.

El relé de temps s'ajustarà a la durada de sortida dels gasos establerta en les condicions anteriors.

La velocitat de gir del motor haurà de ser igual al 75% de la velocitat (S) a la que el motor desenvolupa la seva màxima potència.

La potència que indiqui el dinamòmetre haurà de correspondre al 50% de la potència màxima mesurada al 75% de la velocitat (S) del motor.

Si hagués orificis de drenatge, aquests hauran d'obturar-se durant la prova.

El conjunt de la prova no haurà de superar les 48 hores. Si els períodes de refredament fossin necessaris, es podrà realitzar un cada hora.

Després del condicionament, es verificarà el nivell sonor segons les *especificacions relatives als nivells sonors*, ja explicades. Quan se li apliqui el procediment, el sol·licitant de l'homologació CE podrà demanar el condicionament del silenciós d'origen o presentar un que hagi sigut buidat.

#### 4.1.4 Concessió de l'homologació CE

Un cop concedida l'homologació, després d'acomplir els requisits pertinents:

- Es lliurarà el certificat d'homologació CE.
- S'assignarà a cada tipus de silenciós de recanvi o de components d'aquell dispositiu homologats com a unitat tècnica independent un número d'homologació.

En les següents pàgines es pot veure el model del certificat d'homologació i l'explicació del sistema utilitzat per assignar el número d'homologació.

**MODELO**

[formato máximo: A4 (210 x 297 mm)]

**CERTIFICADO DE HOMOLOGACIÓN CE**

Sello de la administración

Comunicación relativa a:

- homologación <sup>(1)</sup>
- extensión de homologación <sup>(1)</sup>
- denegación de homologación <sup>(1)</sup>
- retirada de homologación <sup>(1)</sup>

de un tipo de vehículo/componente/unidad técnica independiente <sup>(1)</sup> en lo que se refiere a la Directiva ... / ... /CEE, cuya última modificación la constituye la Directiva .../.../CE.

Número de homologación:

Motivos de la extensión:

**SECCIÓN I**

0.1. Marca (razón social del fabricante):

0.2. Tipo y denominación(es) comercial(es) general(es):

0.3. Medios de identificación del tipo de vehículo/componente/unidad técnica independiente <sup>(1)</sup> <sup>(2)</sup>, si están marcados en éste:

0.3.1. Emplazamiento de estas marcas:

0.4. Categoría de vehículo:

0.5. Nombre y dirección del fabricante:

0.7. Emplazamiento y forma de colocación de la marca de homologación CE en componentes y unidades técnicas independientes:

0.8. Nombre(s) i dirección(es) de la(s) planta(s) de montaje:

**SECCIÓN II**

1. Informaciones complementarias (si procede): véase adenda

2. Servicio técnico encargado de la realización de los ensayos:

3. Fecha del acta del ensayo:

4. Número del acta del ensayo:

5. Observaciones (si las hubiera): véase adenda

6. Lugar:

7. Fecha:

8. Firma:

9. Se adjunta el índice del expediente de homologación en posesión de las autoridades competentes, el cual puede obtenerse a petición del interesado.

Adenda al certificado de homologación CE no ..... relativo a la homologación, como unidades técnicas independientes, de dispositivos de escape de los vehículos de motor respecto a la Directiva 70/157/CEE, cuya última modificación la constituye la Directiva .....

**1. Información adicional**

1.1. Composición de la unidad técnica independiente:

<sup>(1)</sup> Táchese lo que no proceda.

<sup>(2)</sup> Si el medio de identificación del tipo contiene caracteres no pertinentes para la descripción del tipo de vehículo, componente o unidad técnica independiente incluidos en la presente ficha de características, tales caracteres se sustituirán en la documentación por el símbolo: «?» (por ejemplo: ABC??123??).

<sup>(3)</sup> Tal y como se define en el Anexo II A de la Directiva 70/156/CEE.

- 1.2. Marca o denominación comercial del(de los) tipo(s) de vehículo de motor en el que vaya a instalarse el silencioso <sup>(1)</sup>:
  - 1.3. Tipo(s) de vehículo(s) i su(s) número(s) de homologación:
  - 1.4. Motor
    - 1.4.1. Tipo (encendido por explosión, diesel):
    - 1.4.2. Ciclos: dos tiempos, cuatro tiempos:
    - 1.4.3. Cilindrada máxima:
    - 1.4.4. Potencia máxima del motor: ..... kW a ..... min<sup>-1</sup>
  - 1.5. Número de velocidades de la caja de cambios:
  - 1.6. Velocidades de la caja de cambios utilizadas:
  - 1.7. Relación eje-transmisión:
  - 1.8. Valores del nivel sonoro:
    - vehículo en marcha: ..... dB (A), velocidad constante antes de la aceleración de ..... km/h;
    - vehículo parado: ..... dB (A) a ..... min<sup>-1</sup>
  - 1.9. Variación de la contrapresión:
  - 1.10. Posibles restricciones relativas a la utilización y disposiciones de montaje:
2. Observaciones

<sup>(1)</sup> Si se indicaran diferentes tipos, deberán rellenarse los puntos 1.3 a 1.10, ambos inclusive, para cada uno de dichos tipos.

*Fig 4.6 Model del certificat d'homologació*



Sistema de numeració del certificat d'homologació:

El número d'homologació constarà de cinc seccions, en el cas de l'homologació de sistemes, sistema, components o unitats tècniques independents, com s'especifica a continuació. Les seccions estaran separades per un asterisc.

Secció 1: la lletra minúscula “e” seguida de número o lletra/es que identifica a l'Estat membre que estén l'homologació:

1 per a Alemanya	6 per a Bèlgica	17 per a Finlàndia
2 per a França	9 per a Espanya	18 per a Dinamarca
3 per a Itàlia	11 per al Regne Unit	21 per a Portugal
4 per als Països Baixos	12 per a Àustria	23 per a Grècia
5 per a Suècia	13 per a Luxemburg	IRL per a Irlanda

Fig 4.7 Símbol de l'Estat que estén l'homologació

Secció 2: el número de la Directiva de base, que en el nostre cas és: 70/157.

Secció 3: el número de l'última modificació de la Directiva aplicable a l'homologació, que en el nostre cas és: 92/97.

En cas que una Directiva inclogui diferents dates d'entrada en vigor per a diferents normes tècniques, s'afegirà un caràcter alfabètic per especificar la norma d'acord amb la qual es va concedir l'homologació.

Secció 4: una seqüència numèrica de quatre dígit (amb zeros per davant si és necessari) que representi el número d'homologació de base. La seqüència començarà a partir de 0001 per a cada Directiva de base.

Secció 5: una seqüència numèrica de dos dígit (amb un zero per davant si és necessari) que indiqui l'extensió. La seqüència començarà a partir de 00 per a cada número d'homologació de base.

Només podrà ometre's la secció 5 a la placa reglamentària del vehicle.

*Exemple de número d'homologació:*

e 9\*70/157\*92/97\*0148\*00

Aquest número pertanyeria a l'homologació número 148 i sense extensions (00) concedida per Espanya (e 9) segons la *Directiva sobre el nivell sonor admissible i el dispositiu d'escapament dels vehicles de motor (70/157/CEE)* amb la modificació de la *Directiva 92/97/CEE*.

Un mateix Estat membre no podrà assignar el mateix número a dos o més tipus de silenciosos o components d'aquests dispositius.

## 4.1.5 Marca d'homologació CE

Tot silenciós de recanvi o component d'aquest dispositiu, tret de l'equip i tubs de fixació, que s'ajusti al tipus homologat durà la marca d'homologació CE.

La marca d'homologació CE consistirà en la lletra minúscula “e” dins d'un rectangle seguida del número o les lletres que identifiquen a l'Estat membre emissor de l'homologació, aquest número o lletres són els mateixos que els de la secció 1 del número d'homologació.

A més, la marca inclourà, a prop del rectangle, el “número d'homologació de base” de la secció 4 del número d'homologació, precedit per les dues xifres que indiquen el número de l'última modificació tècnica important de la *Directiva 70/157/CEE* aplicable en el moment de l'homologació. En el cas de la *Directiva 70/157/CEE* aquest número és 00, en el de la *Directiva 77/212/CEE* és 01, en el de la *Directiva 84/424/CEE* és 02 i en el de la *Directiva 92/97/CEE* és 03, que actualment és l'última.

La marca serà clarament llegible i indeleble fins i tot quan el silenciós o el component d'aquest dispositiu estigui instal·lat al vehicle.

## 4.2 Bibliografia i fonts d'informació

*Soldadura de los aceros inoxidable*, Acerind S.C.

[www.maresminox.com](http://www.maresminox.com)

[www.cendi.org.mx](http://www.cendi.org.mx), CENDI (Centro Nacional para el Desarrollo del Acero Inoxidable).

*Tecnología Industrial I*, McGraw-Hill, Madrid.

[www.rockwool.es](http://www.rockwool.es)

[www.isover.net](http://www.isover.net)

Bea Gorriz e Hijos, S.L. (València)

[www.gencat.net](http://www.gencat.net)

[www.inecomachines.com](http://www.inecomachines.com)

[www.us.trumpf.com](http://www.us.trumpf.com)

[www.metalunivers.com](http://www.metalunivers.com)

[www.interempresas.net](http://www.interempresas.net)

[www.allstates.com](http://www.allstates.com)

[www.comas.com](http://www.comas.com)

[www.embamat.net](http://www.embamat.net)

[www.rajapack.es](http://www.rajapack.es)

[www.waterjets.org](http://www.waterjets.org)

[www.azom.com](http://www.azom.com)

[www.webendtube.com](http://www.webendtube.com)

[www.h-htube.com](http://www.h-htube.com)

[www.tanabe-usa.com](http://www.tanabe-usa.com)

[www.elastorsa.com](http://www.elastorsa.com)

[www.thefabricator.com](http://www.thefabricator.com)

[www.tubepunching.co.uk](http://www.tubepunching.co.uk)

[www.dixiecanner.com](http://www.dixiecanner.com)

[foodqa.byu.edu/double\\_seam/index.html](http://foodqa.byu.edu/double_seam/index.html)

## 4.3 Programes de càlcul utilitzats

El càlcul de la geometria de tall prèvia a la formació dels plegaments de la base metàl·lica d'ancoratge, ha estat realitzat amb el programa informàtic Autodesk Inventor 9.

Alguns càlculs de distàncies per a obtenir les mesures de les peces de xapa necessàries per a la fabricació s'han obtingut amb el programa AutoCAD.

## 5 SÍMBOLS UTILITZATS

SÍMBOL	DESCRIPCIÓ
<b>Tall</b>	
a	Tolerància
t	Espessor del material
S	Resistència al tall de la làmina
L	Longitud de la vora de tall
TS	Resistència última a la tensió
<b>Embotició</b>	
R <sub>p</sub>	Radi del punxó
R <sub>m</sub>	Radi de la matriu
<b>Soldadura</b>	
U <sub>m</sub>	Energia unitària per a fondre
T <sub>m</sub>	Punt de fusió del metall
H <sub>w</sub>	Calor net disponible per a soldar
f <sub>1</sub>	Eficiència de transferència de calor
f <sub>2</sub>	Eficiència de fusió
H	Calor total generada pel procés
A <sub>w</sub>	Àrea de la secció transversal de la soldadura
<b>Agrafat</b>	
BH	Longitud del ganxo del cos
SL	Longitud d'agrafat
t <sub>b</sub>	Gruix de la xapa del cos
t <sub>e</sub>	Gruix de la xapa de la tapa
A	Longitud de solapat
<b>Plegament</b>	
L <sub>t</sub>	Longitud total desplegada
BA	Folgança de plegament
BD	Contracció de plegament
SB	Recuperació elàstica

Taula 5.1 Símbols utilitzats al projecte

## 6 FABRICACIÓ DE PECES I CÀLCULS NECESSARIS

A continuació realitzarem un anàlisis concret de les operacions que s'han de realitzar per a obtenir totes les peces que composen el silenciós. Es definiran totes les peces necessàries i es farà la programació de les tasques que s'han de realitzar per arribar a la peça acabada.

D'aquesta manera es realitzaran les medicions que facin falta per arribar a la peça de material original que es transformarà en la peça acabada.

Els processos a realitzar es mostraran clarament de una manera seqüencial per a que no hi hagi cap mena de dubte en el procés de fabricació. S'intentarà aclarir gràficament cada operació que es realitzi amb el material per a que sigui més senzilla la seva comprensió.

En aquest apartat també s'inclouran els càlculs que han sigut necessaris per a poder concretar cada procés productiu, com poden ser els radis que s'han d'aplicar a les matrius o punxons d'embotició, els paràmetres dels agrafats...

En cada peça s'intentarà demostrar amb els càlculs oportuns que compleix totes les necessitats i recomanacions que es detallen a l'apartat de processos productius.

## 6.1 Carcassa

És la part longitudinal que forma el cos del silenciós i es fabricarà amb xapes d'acer inoxidable AISI-304 de 1 mm de gruix. Aquesta peça estarà formada per dues xapes d'1mm solapades una sobre de l'altra, que permetrà un plegat més fàcil del material que si es formés amb una sola xapa del doble de gruix, i tindrà una resistència major que si es fabriqués amb una sola xapa d'1 mm.

La fabricació passarà per diferents fases que aniran transformant el material inicial fins a arribar a la peça acabada que posteriorment podrà unir-se amb la resta de peces per a formar el silenciós.

Aquestes transformacions que ha de patir la xapa metàl·lica es poden fer pas a pas amb una línia de muntatge manual, en la que es van utilitzant diferents màquines que, cada una per separat, van afegint una operació més a la peça fins arribar a la peça acabada. D'un altra banda es poden utilitzar línies de muntatge automàtiques especialment dissenyades per a la fabricació de silenciós i acoblades per a la producció d'un disseny en particular, que a partir de l'entrada a la màquina del retall de xapa necessària, automàticament realitza totes les operacions intermitges i dona la peça ja finalitzada.

Les operacions que necessita aquesta peça per a la seva formació són:

- Tallat dels dos retalls de xapa necessaris.
- Soldat per punts de les dos xapes per la línia longitudinal central.
- Plegament longitudinal a banda i banda de les xapes com a pas previ per l'agrafat longitudinal.
- Plegament de les xapes que dona forma al cos, en el nostre cas serà ovalat.
- Agrafat longitudinal que unirà els dos extrems de les xapes i deixarà formada i unida la carcassa.
- Plegament dels dos extrems de la carcassa com a pas previ de l'agrafat doble que es realitzarà posteriorment per a unir les dues tapes que tancaran el cos del silenciós.

En la figura següent es mostren les diferents operacions:

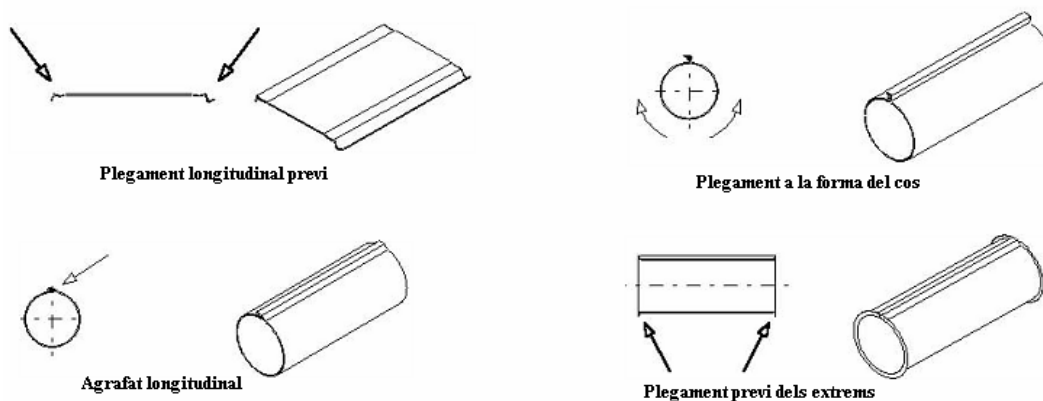


Fig 6.1 Operacions de conformació de la carcassa



## 6.1.1 Estudi de l'agrafat longitudinal

Com ja s'ha vist en l'apartat de processos productius, l'agrafat és un mètode d'unió entre xapes mitjançant el qual es crea una junta a partir del plegament de les xapes entre sí.

Per aconseguir una unió sòlida entre les xapes de metall, modificarem lleugerament el disseny original (que es pot observar a la secció de planols) per a aconseguir un valor de solapat de 8 mm, enlloc dels 3 mm originals, que podrien resultar insuficients. La figura següent mostra la modificació realitzada.

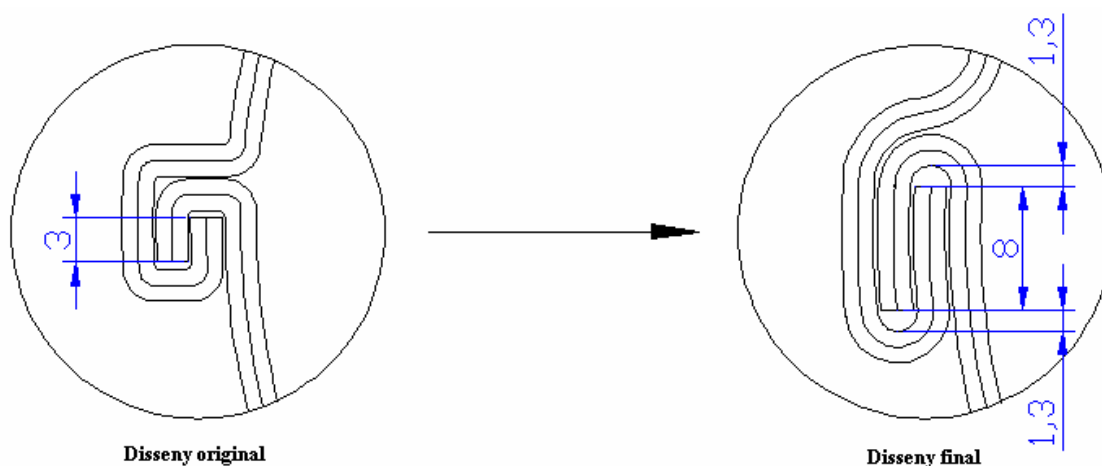


Fig 6.2 Modificació del disseny de l'agrafat original

### 6.1.1.1 Càlcul dels paràmetres de l'agrafat

$$\% \text{ Solapat} = \frac{A}{C} \times 100 = \frac{8}{1,3 + 8 + 1,3} \times 100 = 75,47 \%$$

$$\% \text{ Entroncament del ganxo del cos} = \frac{B}{C} \times 100 = \frac{1,3 + 8}{1,3 + 8 + 1,3} \times 100 = 87,73 \%$$

A: longitud de solapat.

B: longitud interna del ganxo del cos.

C: longitud interna de l'agrafat.

Es recomana un entroncament del ganxo del cos del 70 % com a mínim per a obtenir un segellat adequat de la unió, el nostre disseny disposa del 87,73 %, o sigui que disposem d'una junta molt ben feta, i encara que duran el procés de fabricació aquests valors baixessin per algun motiu, disposem d'un rang de seguretat per a que la unió no resulti deficient.

## 6.1.2 Càlcul de la grandària de la xapa necessària

Per a fabricar la peça necessitem saber quina és la grandària dels retalls de xapa que necessitem per a que després de realitzar-li totes les operacions, esdevingui exactament una peça de la grandària que necessitem sense que sobri ni falti material.

Per a calcular aquesta mesura analitzarem el plànol de disseny de la peça, i mesurarem la longitud de cada segment que forma la peça. Sumant totes les longituds obtingudes obtindrem la longitud total de la peça, que serà la longitud del retall de xapa necessari per a la seva fabricació en la dimensió estudiada.

Per a realitzar algunes mesures utilitzarem el programa informàtic AutoCAD 2006 per a obtenir els valors de manera més ràpida.

Totes les mesures que realitzem en seccions que estiguin sotmeses a un plegament, es faran sobre la longitud de la fibra neutra per a que el valor obtingut coincideixi amb el de la mateixa secció abans del plegament.

### 6.1.2.1 Amplada

La carcassa del silenciós és una peça ovalada amb unes mesures exteriors de 200 mm l'eix major i 140 mm l'eix menor, l'esquema dissenyat per aquesta peça és el següent:

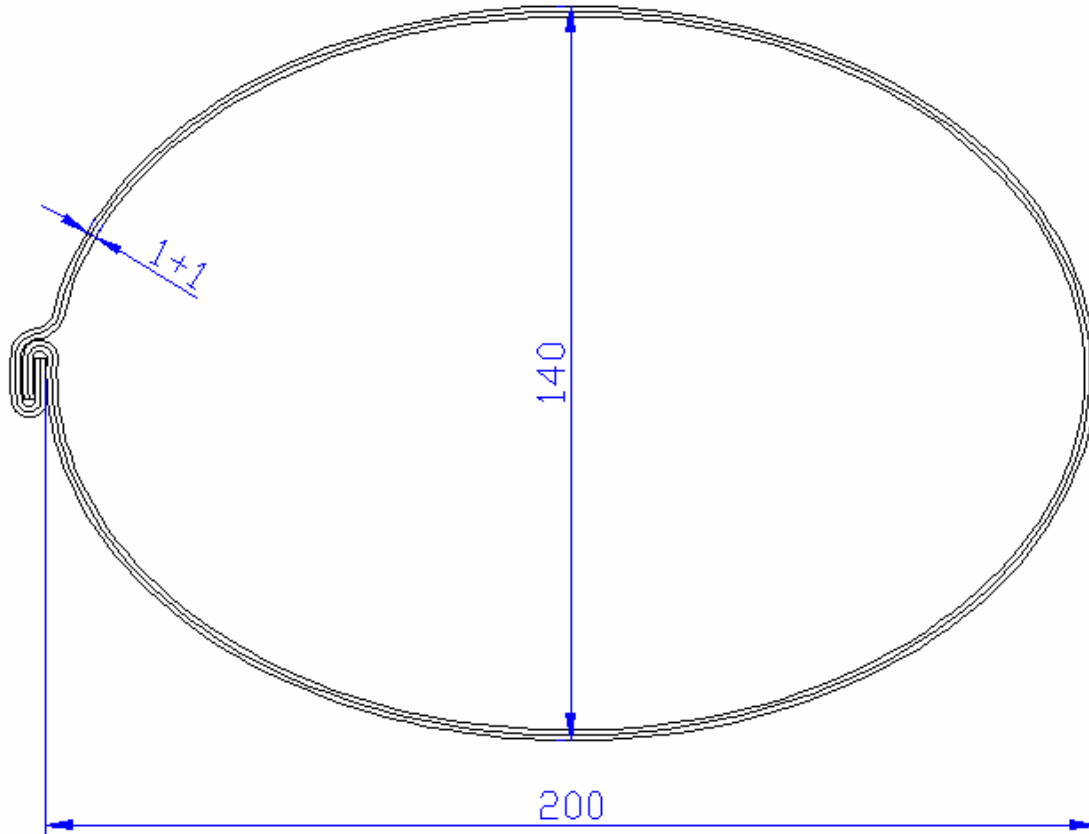


Fig 6.3 Esquema frontal de la carcassa

La peça es compon de dues xapes d'1mm solapades, o sigui que haurem de calcular la amplada de cadascuna de les xapes per separat. Per a fer-ho haurem de mesurar la longitud de la elipse, i posteriorment afegir-li la part de l'agrafat longitudinal.

Calcular la longitud d'una elipse és complicat, per a fer-ho existeixen expressions que aproximen el valor real de la seva longitud. Per a realitzar el nostre càlcul utilitzarem la següent expressió:

$$l_{elipse} \approx \pi(A+B) \quad \left\{ \begin{array}{l} A = \frac{a+b}{2} \\ B = \sqrt{\frac{a^2+b^2}{2}} \end{array} \right.$$

sent  $2a$  la longitud de l'eix major de l'elipse i  $2b$  la longitud de l'eix menor.

### Càlcul de la xapa exterior

La fibra neutra de la xapa exterior serà la que mostra la figura:

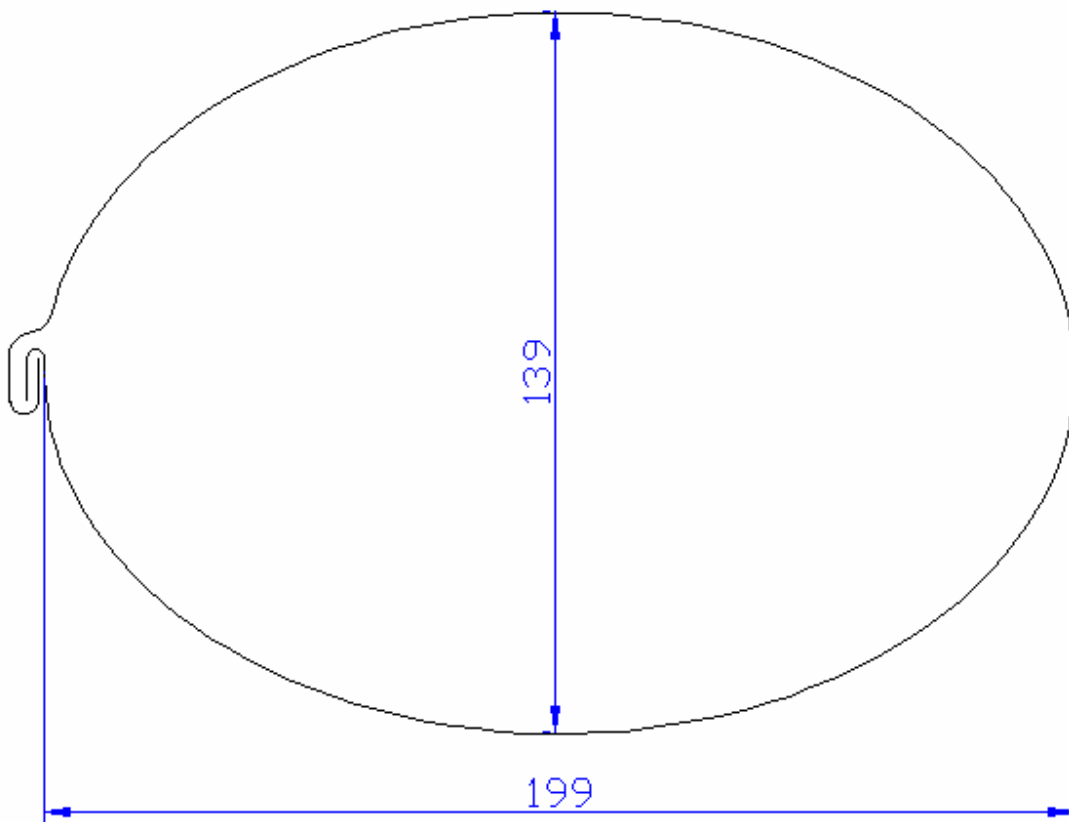


Fig 6.4 Fibra neutra de la xapa exterior de la carcassa

A partir d'aquí calculem la longitud d'aquesta elipse, utilitzant l'expressió anterior:

$$Eix major = 2a = 199 \quad ; \quad a = \frac{199}{2} = 99,5 \text{ mm}$$

$$Eix menor = 2b = 139 \quad ; \quad b = \frac{139}{2} = 69,5 \text{ mm}$$

$$l_{elipse_{ext}} \approx \pi \left( \frac{a+b}{2} + \sqrt{\frac{a^2+b^2}{2}} \right) = \pi \left( \frac{99,5+69,5}{2} + \sqrt{\frac{99,5^2+69,5^2}{2}} \right) = 535,08 \text{ mm}$$

Ara haurem d'afegir a aquest valor la suma de les longituds dels plegaments que formen l'agrafat longitudinal. Aquestes mesures es poden observar a la figura posterior.

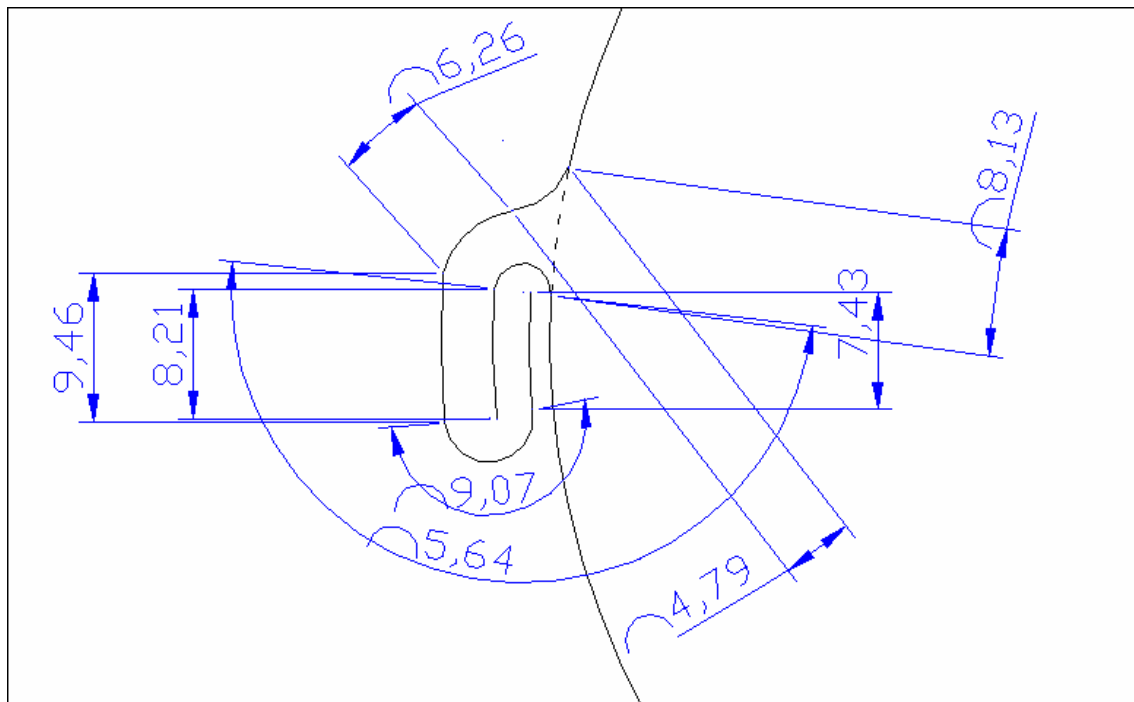


Fig 6.5 Longituds de l'agrafat longitudinal obtingudes amb AutoCAD

Afegint aquestes quantitats al resultat anterior:

$$Amplada xapa_{ext} = 535,08 + 5,64 + 4,79 + 6,26 + 9,46 + 8,21 + 9,07 + 7,43 - 8,13 = 577,81 \text{ mm}$$

La última quantitat (8,13) està restant perquè és la longitud d'una porció de la elipse que no s'inclou a la peça, i per això li restem a la longitud calculada de l'elipse (veure figura anterior).

## Càlcul de la xapa interior

El procediment serà exactament igual que l'anterior però aquest cop amb la fibra neutra de la xapa interior de la carcassa, que és la següent:

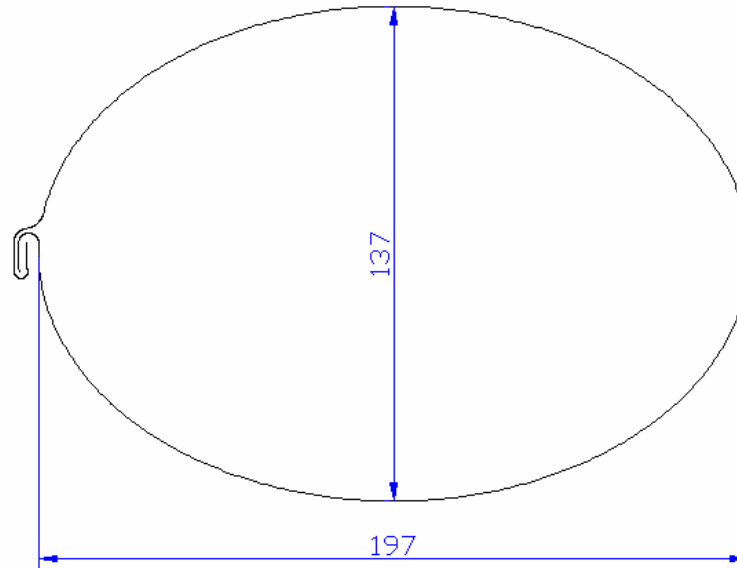


Fig 6.6 Fibra neutra de la xapa interior de la carcassa

$$\text{Eix major} = 2a = 197 ; a = \frac{197}{2} = 98,5 \text{ mm} \quad \text{Eix menor} = 2b = 137 ; b = \frac{137}{2} = 68,5 \text{ mm}$$

$$l_{\text{elipse}_{\text{ext}}} \approx \pi \left( \frac{a+b}{2} + \sqrt{\frac{a^2+b^2}{2}} \right) = \pi \left( \frac{98,5+68,5}{2} + \sqrt{\frac{98,5^2+68,5^2}{2}} \right) = 528,84 \text{ mm}$$

Afegim les longituds de l'agrafat:

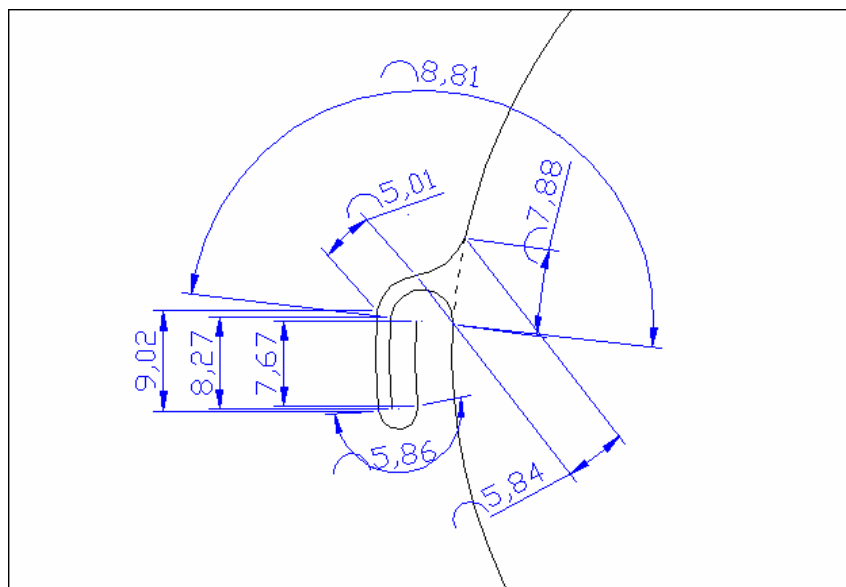


Fig 6.7 Longituds de l'agrafat longitudinal obtingudes amb AutoCAD

$$Amplada xapa_{int} = 528,84 + 8,81 + 5,01 + 9,02 + 8,27 + 7,67 + 5,86 + 5,84 - 7,88 = 571,44 \text{ mm}$$

### 6.1.2.2 Llargada

El cos del silenciós té una llargada de 400 mm i està format per tres peces: la carcassa i dues tapes. Per a realitzar el càlcul de la llargada original de les xapes que formen la carcassa, haurem d'analitzar els plegaments que pateixen als seus extrems degut a l'agratat doble que l'uneixen amb la carcassa. L'esquema següent representa la carcassa una vegada acabada:

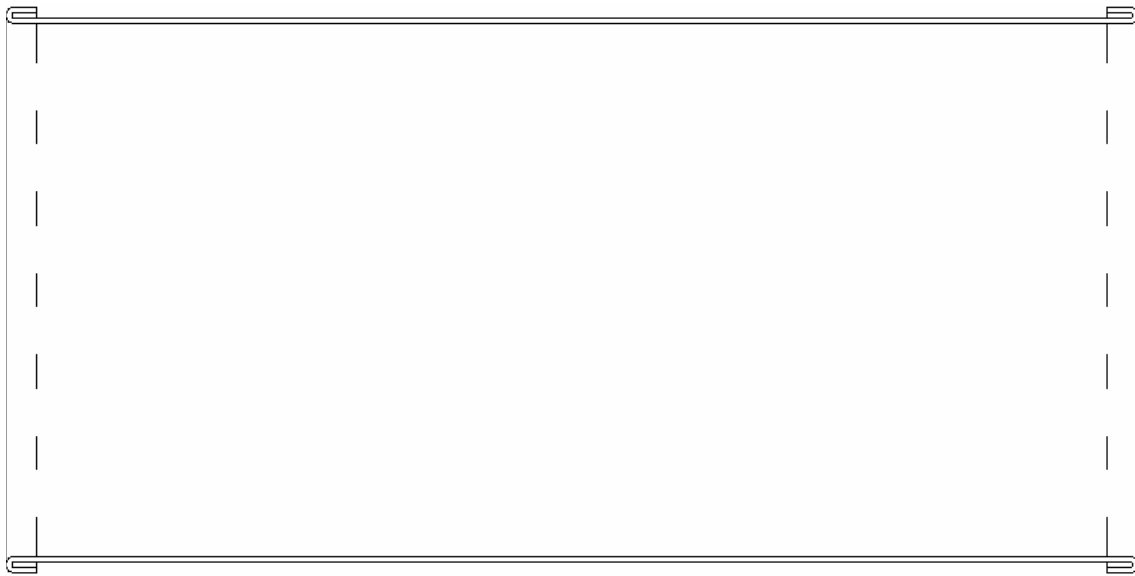


Fig 6.8 Esquema de la carcassa acabada

Per a calcular les llargades de les xapes que la formen, mesurarem la longitud d'una secció longitudinal per la fibra neutra.

#### Xapa exterior

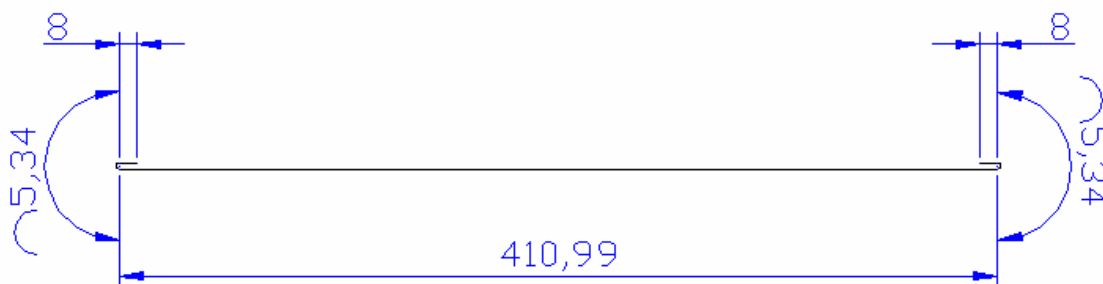


Fig 6.9 Longitud de la secció longitudinal de la xapa exterior

$$Llargada xapa_{ext} = 410,99 + 8 + 8 + 5,34 + 5,34 = 437,67 \text{ mm}$$

### Xapa interior

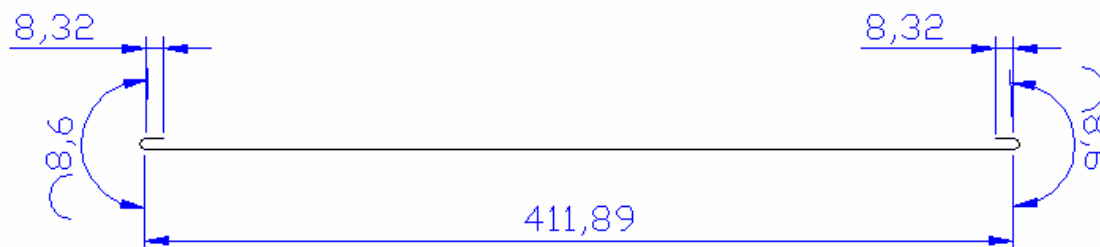


Fig 6.10 Longitud de la secció longitudinal de la xapa interior

$$Llargada xapa_{int} = 411,89 + 8,6 + 8,6 + 8,32 + 8,32 = 445,73 \text{ mm}$$

### 6.1.2.3 Discussió dels resultats

Els càlculs s'han realitzat amb una precisió de centèsima de mil·límetre però el resultat el donarem amb dècimes de mil·límetre ja que no es necessària una precisió tan gran.

Tots els valors els truncarem al primer decimal, sempre anant a la baixa, mai es farà a l'alta, sobretot perquè aquests retalls de xapa hauran de formar agrafats i si degut a aquest truncament la longitud de solapat és una mica inferior al desitjat (sense que passi d'uns certs límits) ja hem vist anteriorment que no afectaria a la unió, però si pel contrari la longitud es una mica superior, l'extrem dels ganxos de l'agrafat podria ocasionar alguna interferència de material interior, resultant una unió deficient.

D'aquesta manera les mesures dels retalls de les xapes que utilitzarem per a formar la carcassa del silenciós seran les següents:

$$\text{Xapa exterior} = 437,6 \times 576,6 \times 1 \text{ mm}$$

$$\text{Xapa interior} = 445,7 \times 571,4 \times 1 \text{ mm}$$

Per a la fabricació d'aquesta peça utilitzarem una línia de muntatge automatitzada, d'aquesta manera l'únic que haurem de fer serà ficar les xapes ja tallades a la mesura calculada a la plataforma de càrrega, i la màquina realitzarà ella sola totes les operacions fins a arribar a la carcassa acabada. La forma d'aquesta peça finalitzada pot observar-se al plànol número 1.

De forma resumida les operacions que realitzarà la màquina d'agrafat longitudinal són les següents:



- La màquina agafa les xapes de la plataforma de càrrega i les fica a la plataforma de treball.
- Mitjançant una matriu de la forma i grandària adequades, es dobleguen les dues xapes per a donar la forma ovalada adequada.
- Amb la peça encara col·locada en aquesta matriu es fa passar un carro amb una sèrie de corrons que progressivament van formant els plecs que formaran l'agrafat longitudinal. Aquest agrafat no ocuparà tota la llargada de la carcassa, sinó que es deixarà una petita part a cada extrem on les xapes quedaran únicament solapades una damunt de l'altra per a que al fer l'agrafat doble amb les tapes no hi hagi tanta acumulació de material (aquest detall també es pot observar al plànol 1).
- Finalment es produeix una extracció de la peça acabada que està a la matriu i es col·loca a un contenidor de descàrrega.

### 6.1.3 Plec de preparació per a l'agrafat doble

Una vegada tenim la peça de la carcassa amb la seva forma i amb la unió de l'agrafat feta, necessitem realitzar un plegament cap a l'exterior de cadascun dels seus extrems, aquest plegament és un pas previ necessari per a poder fer més endavant l'agrafat doble que unirà aquesta peça amb les dues tapes. És un plegament que s'exigeix per a que quan passin els corrons d'agrafat s'aconsegueixin formar els plegaments necessaris per a un correcte agrafat amb les tapes, per a més informació sobre aquest procés es pot consultar l'apartat d'agrafat dins dels processos productius.

El procediment que seguirem per a calcular aquest plegament serà substituir la longitud de la part d'agrafat dels extrems de la carcassa, per un quart de circumferència que tingui una longitud igual. Aquest càlcul es pot observar millor a la figura següent:

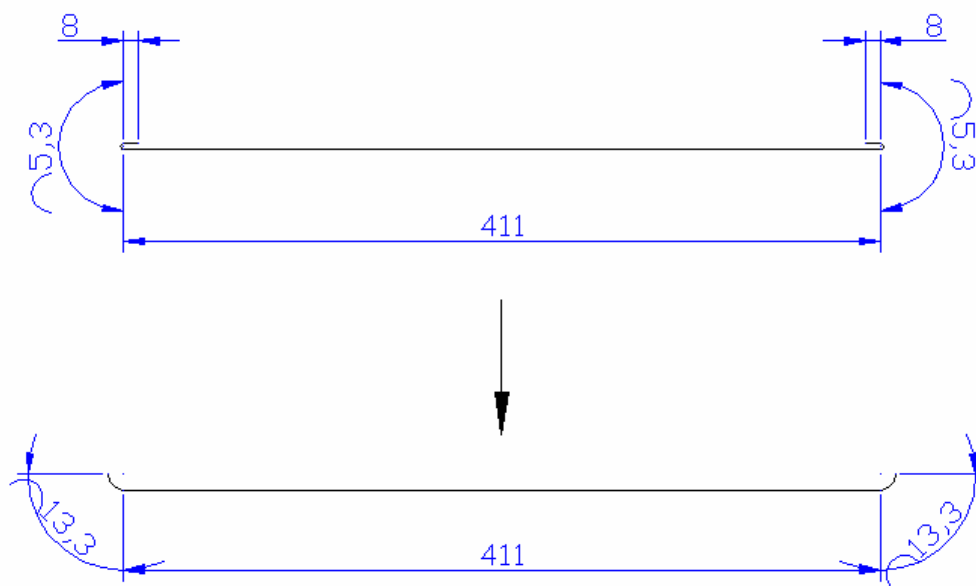


Fig 6.11 Càlcul de la distància del plec

Per a calcular el radi del plegament que volem realitzar igualarem les longituds del plegament de l'agrafat de la peça acabada amb la longitud teòrica d'un quart de circumferència, d'aquesta manera tindrem l'expressió següent:

$$l_{\text{circumferència}} = 2\pi r$$

$$l_{\text{arc}} = \frac{2\pi r}{4} = \frac{\pi r}{2}$$

$$r_{\text{ext}} = \frac{2 \cdot l_{\text{arc}}}{\pi} = \frac{2 \cdot 13,3}{\pi} = 8,46 ; 8,4 \text{ mm}$$

Aquest és el radi que ha de tenir la fibra neutra de la xapa exterior, a partir d'aquest valor farem una reconstrucció de la peça per a saber quins són els radis exterior i interior que haurà de tenir el plegament, i saber de quina forma quedarà la xapa interior. D'aquesta manera deixarem el plegament ben acotat.

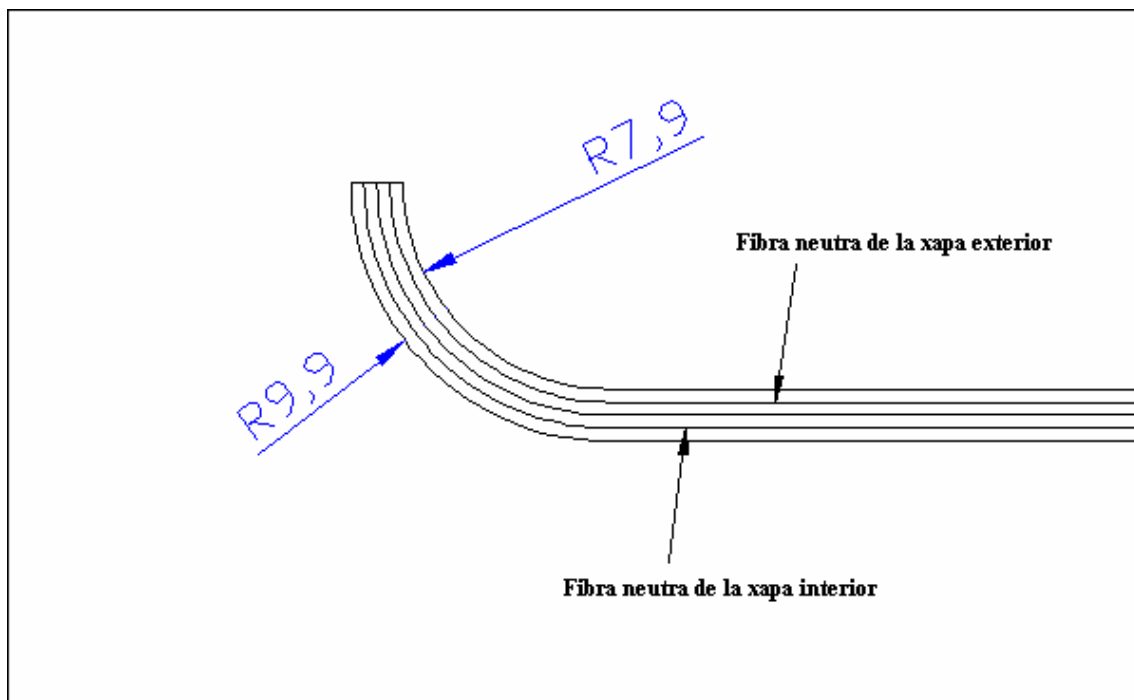


Fig 6.12 Mesures del plec de preparació per l'agrafat

Aproximant aquests valors el plegament format tindrà un radi exterior de 8 mm i un interior de 10 mm, segurament el radi més important serà l'interior, ja que per a la formació d'aquest plegament normalment s'utilitza una matriu amb la forma del plegament que s'introdueix a la carcassa i es pressiona per aconseguir aquest resultat.

A continuació farem una altra reconstrucció amb els valors aproximats a valors sencers i calcularem la longitud que sobresortirà la xapa interior.

La longitud del plegament de l'agratat de la fibra neutra de la xapa interior ja ha estat calculada anteriorment, i tindrà un valor de:  $8,6 + 8,3 = 16,9 \text{ mm}$ .

El radi del plegament que estem estudiant per aquesta fibra neutra serà de 9,5 mm, per tant calcularem la longitud d'un quart de circumferència amb aquest radi i li afegirem la longitud restant.

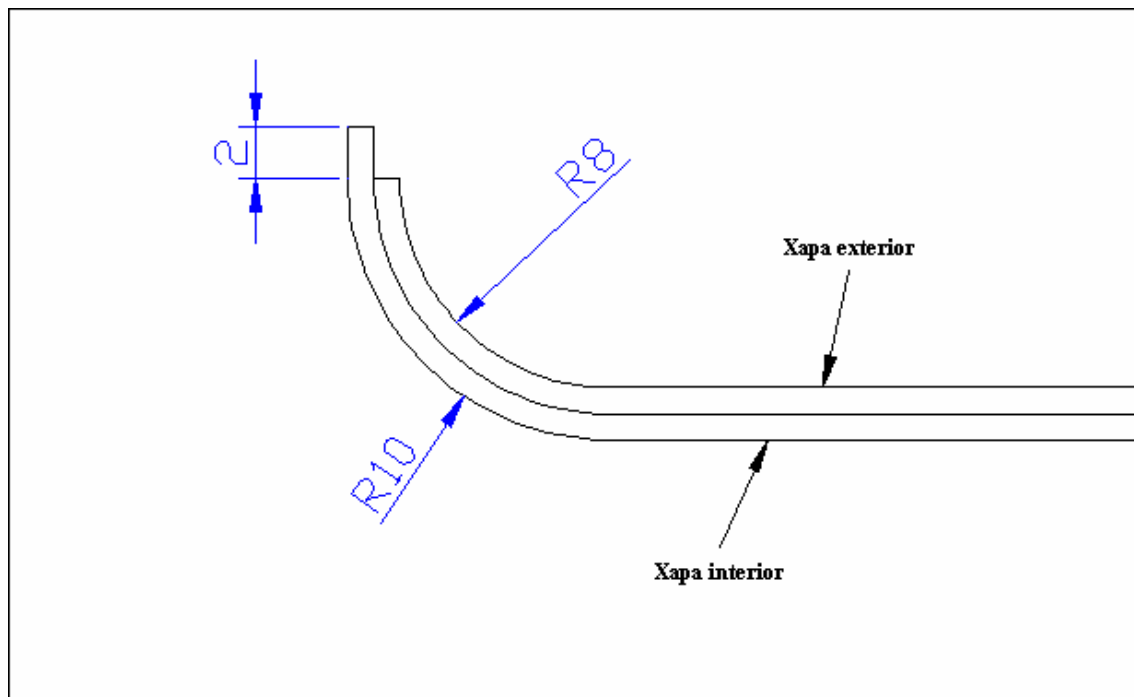
$$l_{arc} = \frac{\pi \cdot r_{int}}{2} = \frac{\pi \cdot 9,5}{2} = 14,9 \text{ mm}$$

Restem aquesta quantitat a la longitud total:

$$16,9 - 14,9 = 2 \text{ mm}$$

Això vol dir que a part del plegament que estem estudiant, la xapa interior tindrà un petit tram recte que sobresortirà de la xapa exterior una distància de 2 mm.

A continuació es mostra la reconstrucció gràfica dels valors obtinguts:



*Fig 6.13 Configuració definitiva de la peça després del plec*

Per a una visió global i detallada de la peça després d'aquesta operació consultar el plànol número 2.

Amb aquesta operació la peça ja queda preparada per a poder començar les operacions d'ensamblament en les altres peces del silenciós.

## 6.2 Tapes

Són les dues peces que tanquen la carcassa a cada extrem i delimiten el cos del silenciós. Aquestes peces s'uneixen a la carcassa amb un procés d'agrafat doble com ja s'ha vist anteriorment.

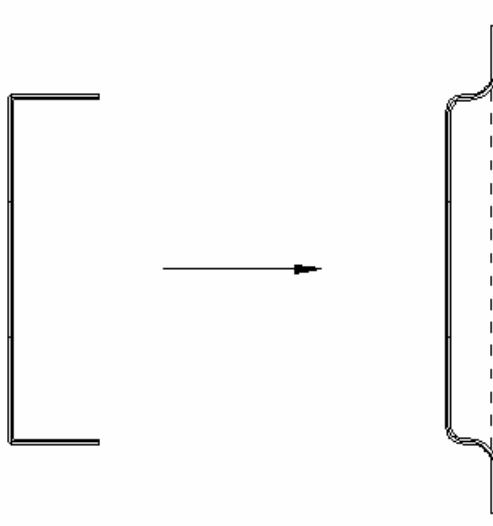
Aquesta peça, al igual que la carcassa, està formada per dues xapes de 1 mm de gruix solapades d'acer inoxidable AISI-304.

En la fabricació d'aquesta peça distingirem tres processos diferents:

- Tall de la geometria de xapa original necessària per a la següent fase.
- Soldat per punts de les dues xapes entre si per a evitar el moviment relatiu entre si.
- Embotició del retall de xapa per a obtenir la forma adequada de la peça que posteriorment s'unirà a la carcassa.

La geometria de les dues tapes és exactament igual, excepte en la situació del forat per on haurà d'introduir-se el tub interior del silenciós. En la tapa davantera el forat estarà col·locat en el centre exacte de la geometria de la tapa, i en la posterior, en canvi estarà desplaçada cap a un dels laterals. El procediment de fabricació serà igual en les dos peces, l'única diferència que hi haurà serà que durant el procés de tall es modificarà la posició del forat en cada cas.

La forma que han de tenir les tapes s'haurà de modificar del disseny original, ja que al realitzar l'estudi de la formació de l'agrafat hem observat que la porció de xapa recta que amb aquest procés es plegarà ha d'estar perpendicular a la carcassa, i no paral·lela com s'havia dissenyat en un principi. A la figura següent es pot observar aquesta modificació:



*Fig 6.14 Modificació del disseny original de les tapes*

Per a observar els plànols que es van fer d'aquestes dues peces al disseny original del silenciós consulteu l'apartat de plànols.

Per a realitzar el càlcul de les mesures d'aquestes peces en primer lloc dimensionarem la grandària i forma dels retalls de xapa necessaris per a arribar a l'estat final, i així sabrem la geometria de tall que s'haurà d'aplicar a les xapes de metall.

Posteriorment farem un estudi dels paràmetres que haurà de tenir l'embotició, per a no dissenyar cap part que no es pugui correspondre posteriorment amb el procés productiu.

Una vegada fet això, procedirem a dissenyar la forma que hauran de tenir les dos peces per a que es corresponguin les mesures que ha de tenir el cos del silenciós després de realitzar la unió amb la carcassa.

## 6.2.1 Estudi de l'agrafat doble de les tapes i la carcassa

Igual que hem fet anteriorment amb la carcassa, realitzarem un estudi de les longituds que conformen els plegaments de les tapes per a formar l'agrafat doble, d'aquesta manera sabrem la geometria que hauran de tenir els retalls de xapa que utilitzarem per a conformar les dues peces que estem estudiant.

De la mateixa forma que amb l'agrafat longitudinal de la carcassa, s'ha hagut de fer una modificació del disseny original de l'agrafat doble, per a obtenir un valor de solapat que ens atorgués una major seguretat en la junta. Hem passat d'un valor de 3mm a 8 mm. En la figura següent es pot observar aquest canvi.

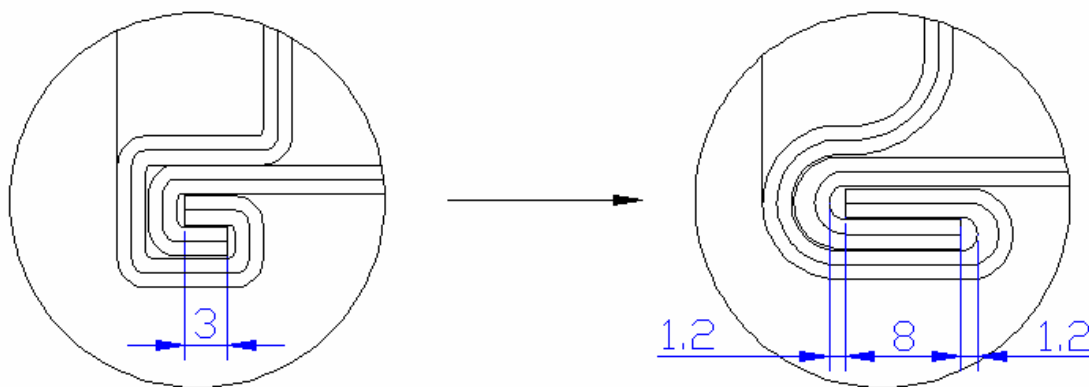


Fig 6.15 Modificació del disseny original de l'agrafat doble

El paràmetres d'aquest agraflat són els següents:

$$\% \text{ Solapat} = \frac{A}{C} \times 100 = \frac{8}{1,2 + 8 + 1,2} \times 100 = 76,92 \%$$

$$\% \text{ Entroncament del ganxo del cos} = \frac{B}{C} \times 100 = \frac{1,2 + 8}{1,2 + 8 + 1,2} \times 100 = 88,46 \%$$

A: longitud de solapat.

B: longitud interna del ganxo del cos.

C: longitud interna de lagratat.

Es recomana un entroncament del ganxo del cos del 70 % com a mínim per a obtenir un segellat adequat de la unió, el nostre disseny disposa del 88,46 %, o sigui que disposem d'una junta molt ben feta, i encara que duran el procés de fabricació aquests valors baixessin per algun motiu, disposem d'un rang de seguretat per a que la unió no resulti deficient.

## 6.2.2 Càlcul de la grandària dels retalls de xapa

A continuació calcularem la longitud total de cadascuna de les xapes de la peça seguint la fibra neutra dels plegaments ocasionats per l'agrafat, i així aconseguirem les mesures de les xapes inicials necessàries.

### Xapa exterior

Haurem d'analitzar les longituds tant a l'eix major de l'elipse com a l'eix menor, per a poder definir l'elipse original.

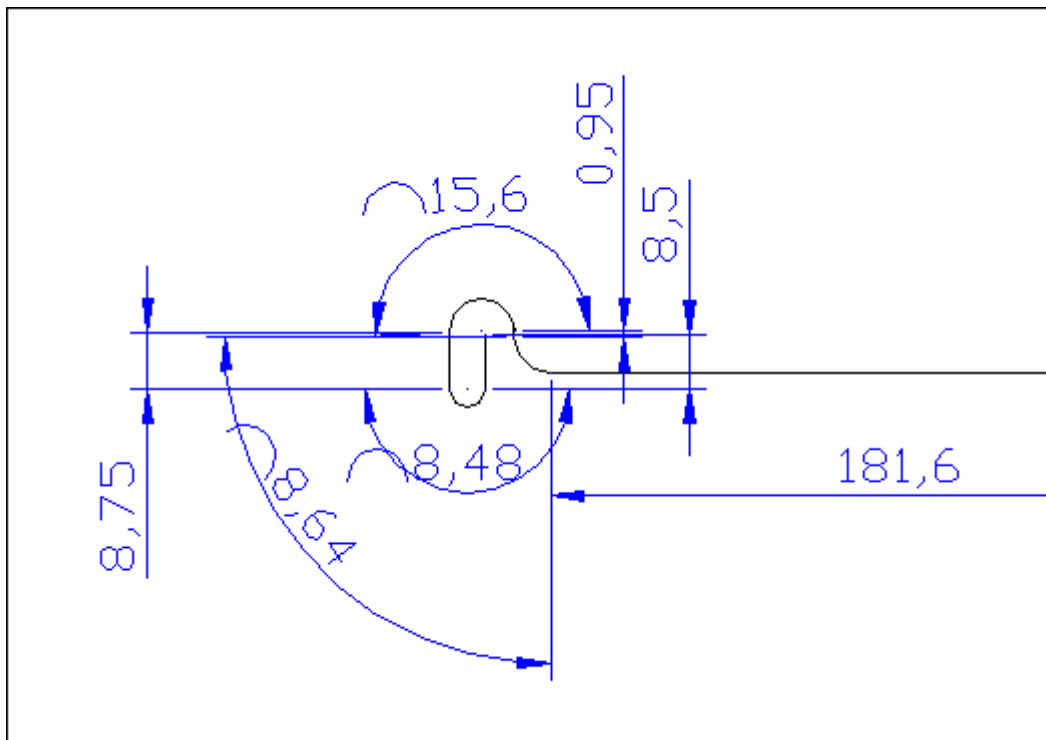


Fig 6.16 Longituds de la xapa exterior en la dimensió major

$$Eix major = 181,6 + 2 (8,64 + 0,95 + 15,6 + 8,75 + 8,48 + 8,5) = 283,44 \text{ mm}$$

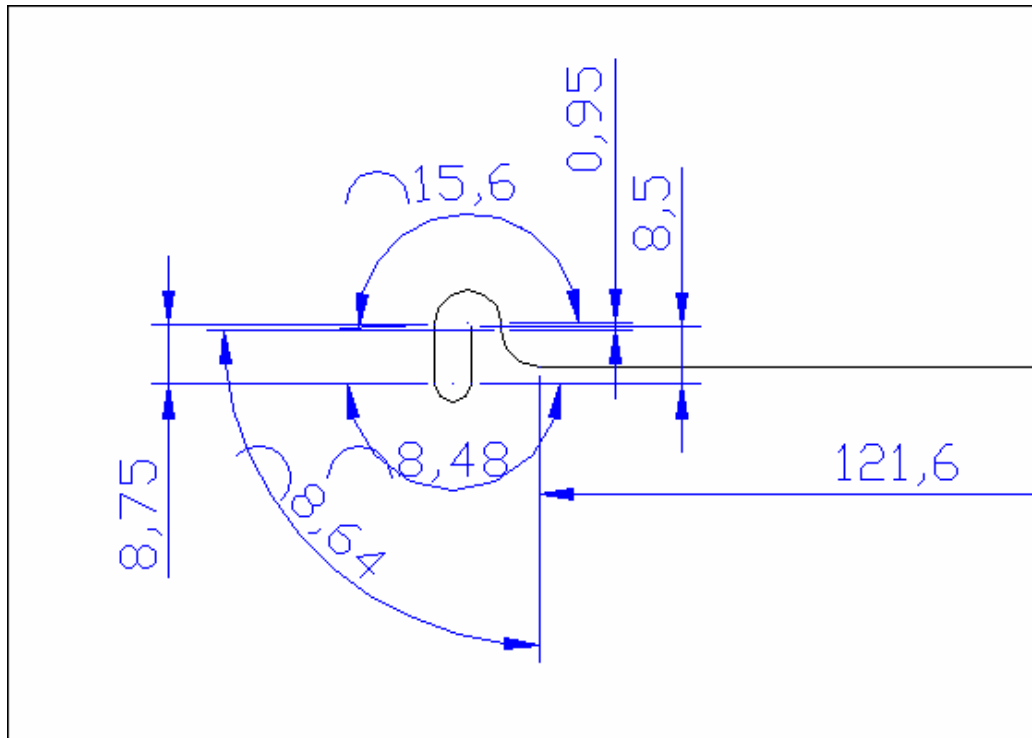


Fig 6.17 Longituds de la xapa exterior en la dimensió menor

$$Eix menor = 121,6 + 2 (8,64 + 0,95 + 15,6 + 8,75 + 8,48 + 8,5) = 223,44 \text{ mm}$$

### Xapa interior

Repetirem la mateixa operació que acabaem de realitzar però aquest cop amb la fibra neutra de la xapa interior.

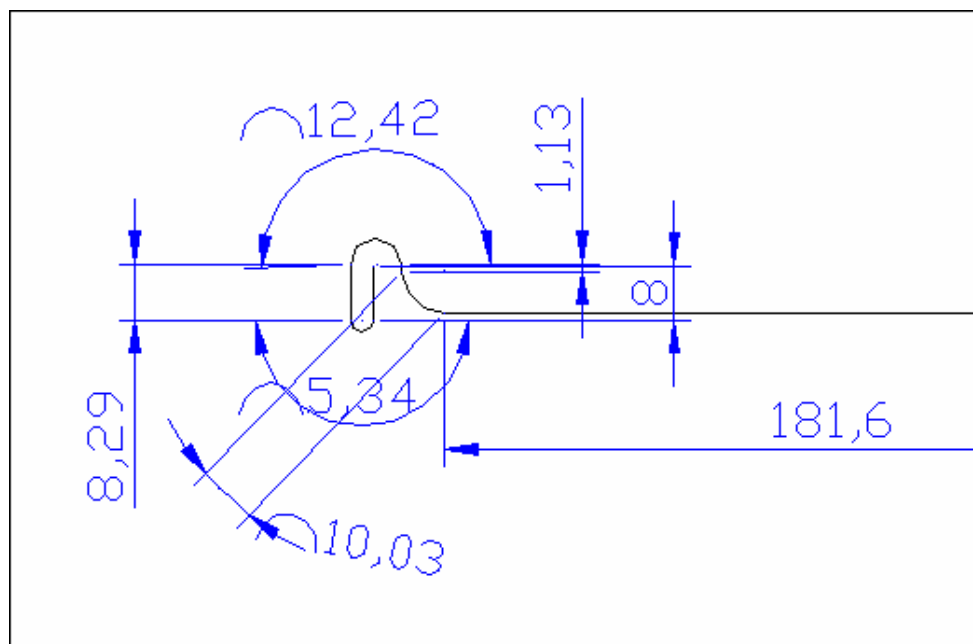


Fig 6.18 Longituds de la xapa interior en la dimensió major

$$Eix major = 181,6 + 2 (10,03 + 1,13 + 12,42 + 8,29 + 5,34 + 8) = 272,02 \text{ mm}$$



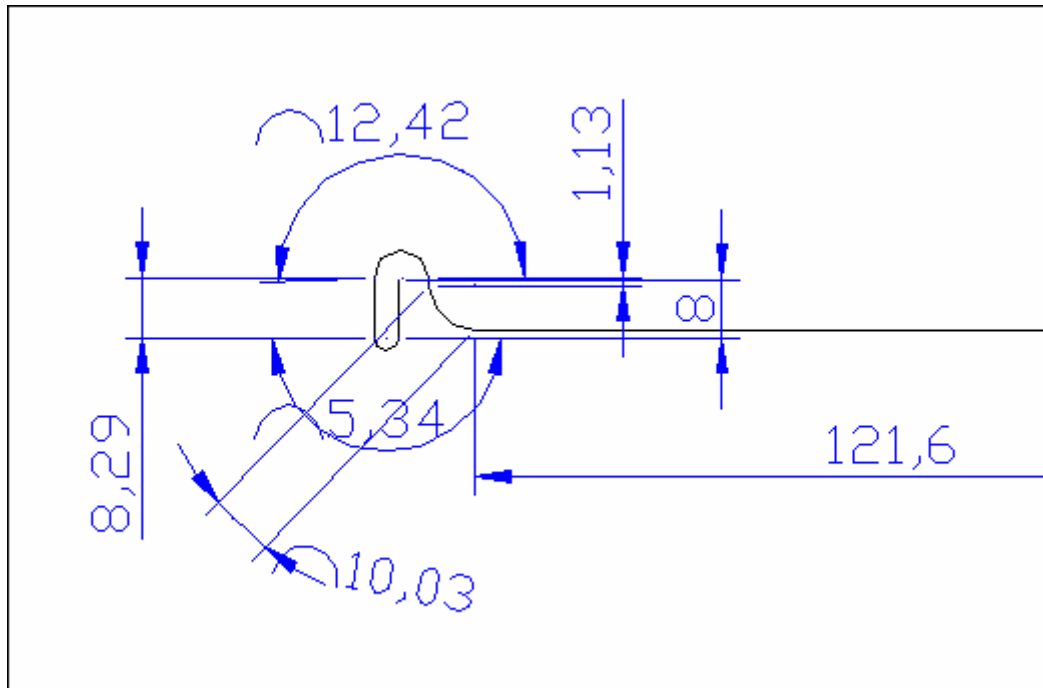


Fig 6.19 Longituds de la xapa interior en la dimensió menor

$$\text{Eix major} = 121,6 + 2 (10,03 + 1,13 + 12,42 + 8,29 + 5,34 + 8) = 212,02 \text{ mm}$$

### Anàlisi dels resultats

Els càlculs s'han realitzat amb una precisió de centèsima de mil·límetre però el resultat el donarem amb dècimes de mil·límetre ja que no es necessària una precisió tan gran.

Tots els valors els truncarem al primer decimal, sempre anant a la baixa, mai es farà a l'alta, sobretot perquè aquests retalls de xapa hauran de formar agrafats i si degut a aquest truncament la longitud de solapat és una mica inferior al desitjat (sense que passi d'uns certs límits) ja hem vist anteriorment que no afectaria a la unió, però si pel contrari la longitud es una mica superior, l'extrem dels ganxos de l'agrafat podria ocasionar alguna interferència de material interior, resultant una unió deficient.

D'aquesta manera les mesures dels retalls de les xapes que utilitzarem per a formar les tapes del silenciós seran les següents:

$$\text{Xapa exterior: elipse} \begin{cases} \text{eix major} = 283,4 \text{ mm} \\ \text{eix menor} = 223,4 \text{ mm} \end{cases}$$

$$\text{Xapa interior: elipse} \begin{cases} \text{eix major} = 272 \text{ mm} \\ \text{eix menor} = 212 \text{ mm} \end{cases}$$

Per a més informació de la geometria inicial consultar els plànols 3 i 5.

## 6.2.3 Paràmetres de l'embotició

### Radi del punxó:

$$R_p = 5e = 5 \cdot 1 \text{ mm} = 5 \text{ mm}$$

Sent  $e$  l'espessor del material (2 xapes d'1 mm).

### Radi de la matriu:

$$\text{Si } 1 < e < 3 \text{ mm} \Rightarrow R_m = (de 4 a 6) \cdot e = 5 \cdot e = 5 \text{ mm}$$

### Joc entre punxó i matriu:

$$Joc = e \cdot 1,1 = (1+1) \cdot 1,1 = 2,2 \text{ mm}$$

Aquests paràmetres són els mínims que s'han de complir per a que no hi hagi cap problema en el procés d'embotició. En aquest cas augmentarem el radi de la matriu per motius de disseny. El radi del punxó també s'ha d'augmentar respecte al disseny original ja que no compleix els requisits mínims.

## 6.2.4 Estudi de l'acoblament de les tapes amb la carcassa

Les tapes que ficarem a cada extrem de la carcassa hauran d'encaixar dins d'aquesta i introduir-se una mica al seu interior fins a que des de la part exterior d'una a la mateixa part de l'altra hi hagi exactament una distància de 400 mm, que és la longitud requerida del disseny. Per a aconseguir això les peces hauran de tenir una base ovalada que entri dins la carcassa i la part sobrant haurà de plegar-se cap a l'exterior, com s'havia dissenyat en un principi.

No obstant per a poder realitzar l'agrafat doble per unir-les amb la carcassa, necessitem un altre plegament que faci tornar la xapa a un pla paral·lel a la seva base, quedant així perpendicular a la longitud de la carcassa, tal i com mostra la figura de sota.



Fig 6.20 Forma final de les tapes

El radi del punxó d'embotició serà de 5mm (que ha estat calculat prèviament), i el radi de la matriu l'haurem de calcular per a que sigui similar al radi de plegament que hem realitzat. La profunditat d'embotició anirà en funció de la longitud de la carcassa, ja que les tapes hauran d'introduir-se dins d'aquesta per a fer que la longitud del cos sigui de 400 mm.

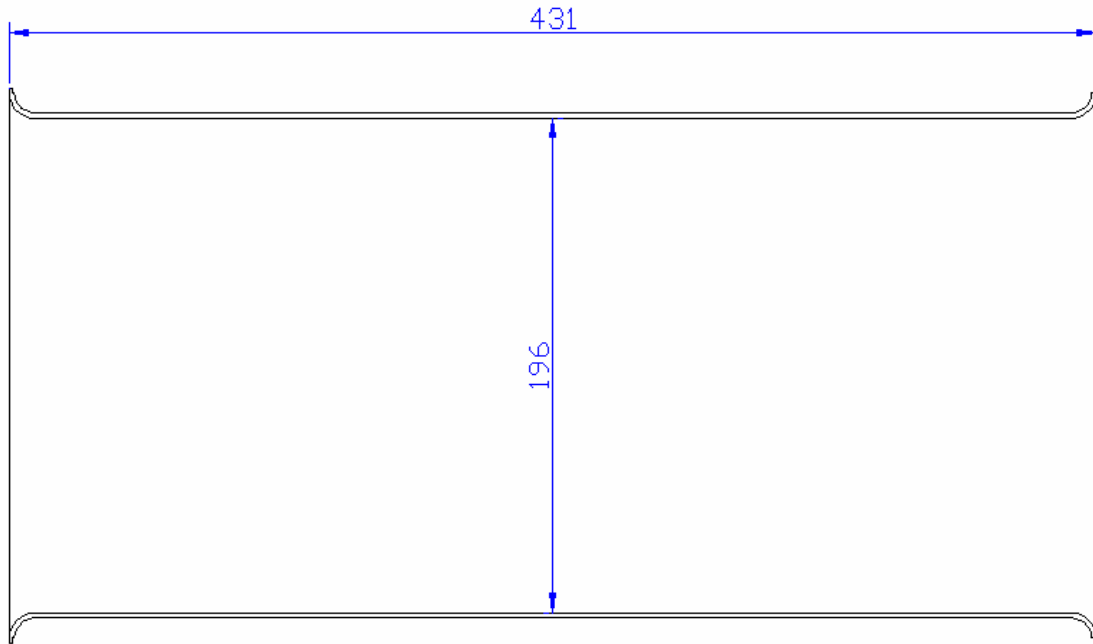


Fig 6.21 Carcassa abans de l'agrafat doble amb les tapes.

Com hem dit hem de dissenyar les tapes de forma que s'introdueixin dins la carcassa i que ho facin una distància que deixi el cos del silenciós amb una longitud de 400 mm.

L'elipse de la base d'aquestes dues peces que s'ha d'introduir a la carcassa haurà de tenir unes mesures exteriors de 196 mm l'eix menor i 136 mm el menor, però per tal de que la seva introducció no resulti difícil li donarem un petit joc de 0,2 mm al voltant de tota la secció. Això no suposarà cap problema de segellat del cos ja que al produir l'agrafat doble tots els gruixos de xapa es presionaran entre sí, i s'eliminarà aquest joc que introduïm ara.

Per una altra part la profunditat de punxonat ha de ser:

$$\text{Profunditat de punxonat} = \frac{431 - 400}{2} = 15,5 \text{ mm}$$

O sigui que l'alçada de penetració del punxó dins la matriu de punxonat ha de ser de 15,5 mm, per a que la longitud del cos del silenciós sigui 400 mm.

Amb aquestes restriccions comencem a dissenyar los nostres peces, la representació gràfica és la següent:

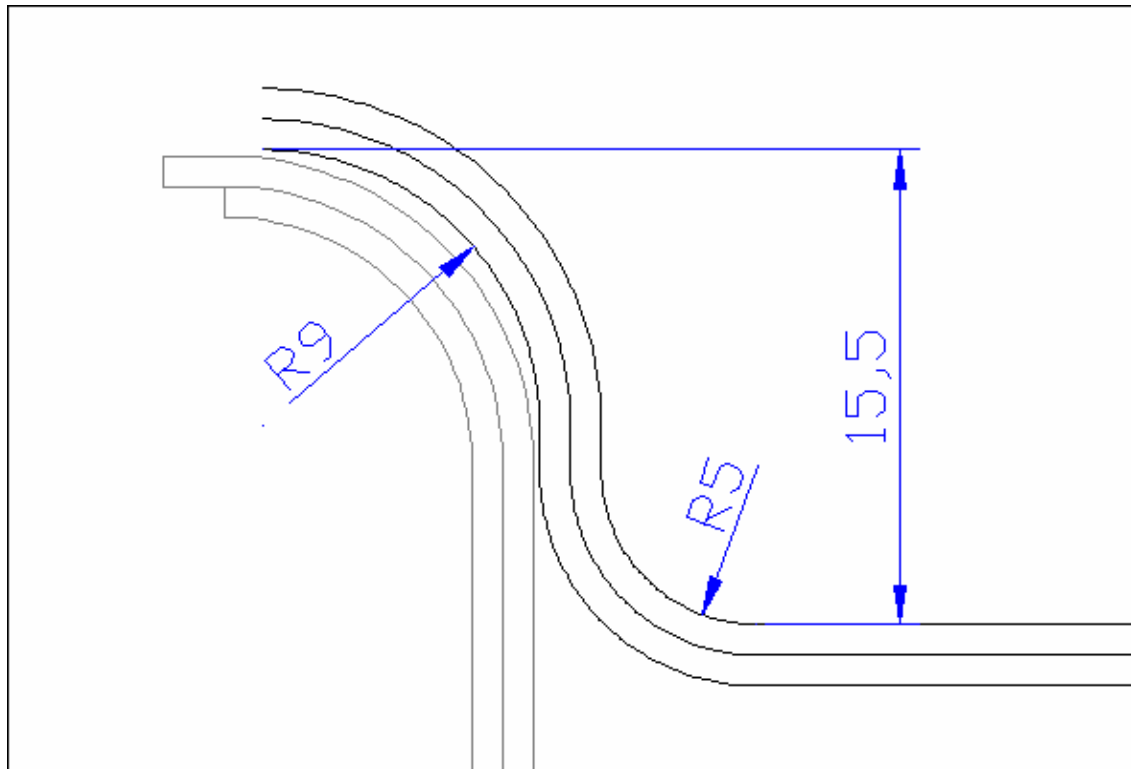


Fig 6.22 Càlcul dels radis de les tapes

D'aquest disseny extraïem que el radi de la matriu d'embotició ha de ser de 9 mm. Ja tenim els paràmetres definitius de l'embotició:

- Radi del punxó = 5 mm.
- Radi de la matriu = 9 mm.
- Joc entre punxó i matriu = 2,2 mm.
- Profunditat de penetració del punxó = 15,5 mm.

Ara només ens queda acabar de dimensionar l'anell de les tapes que s'utilitzarà per a produir l'agrafat doble amb la carcassa. Això ho aconseguirem comparant la dimensió dels retalls de xapa d'origen amb les longitud de la peça acabada que hem calculat fins ara. Com sempre estaran referides a la fibra neutra i es farà tant a la xapa exterior com a l'interior.

## Xapa exterior

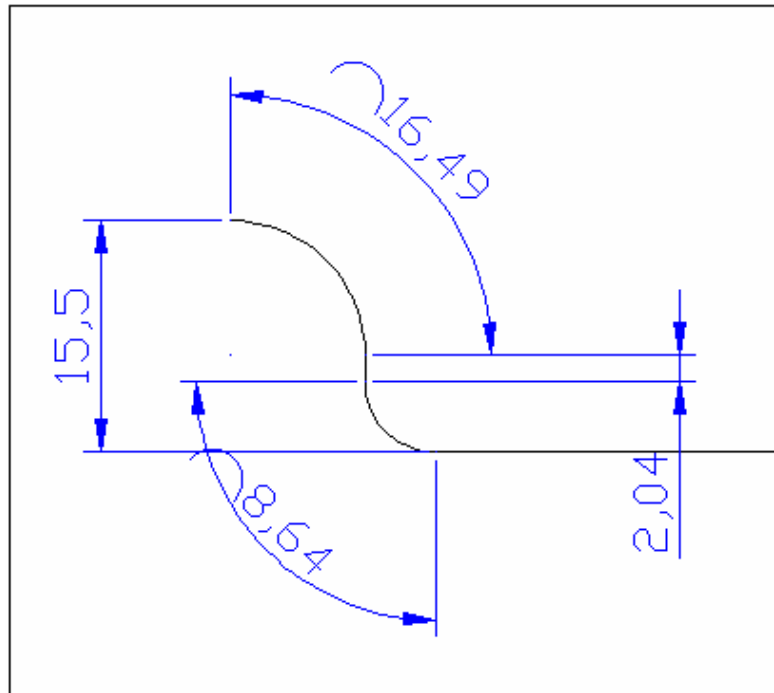


Fig 6.23 Mesures de la xapa exterior

$$0,95 + 15,6 + 8,75 + 8,48 + 8,5 = l_1 + 16,49 + 2,04$$

$$l_1 = 23,75 ; 23,7 \text{ mm}$$

## Xapa interior

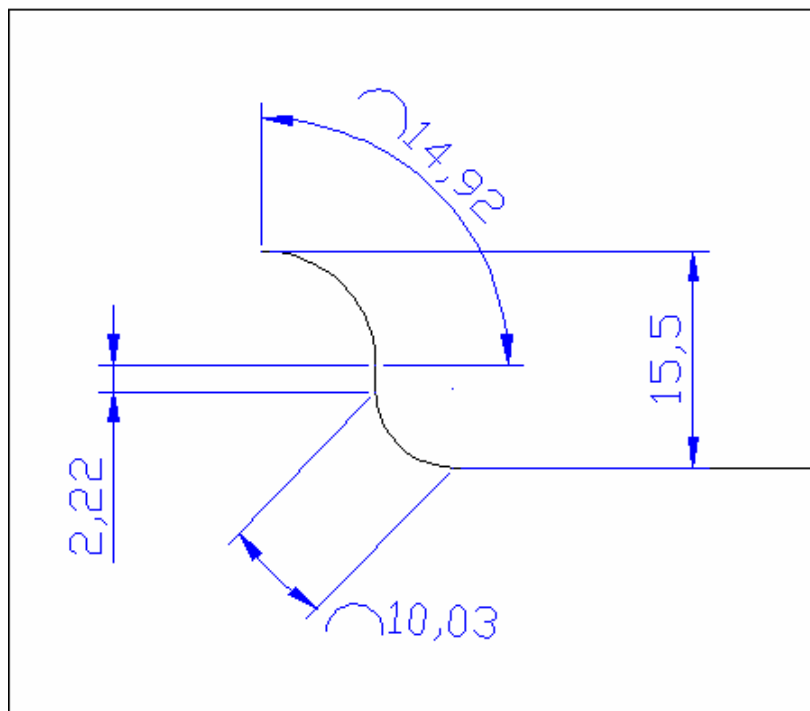


Fig 6.24 Mesures de la xapa interior

$$1,13 + 12,42 + 8,29 + 5,34 + 8 = l_2 + 14,92 + 2,22$$

$$l_2 = 18,04 ; 18 \text{ mm}$$

Ara ja tenim totalment definida la mesura de les tapes, les peces acabades tindran la forma següent:

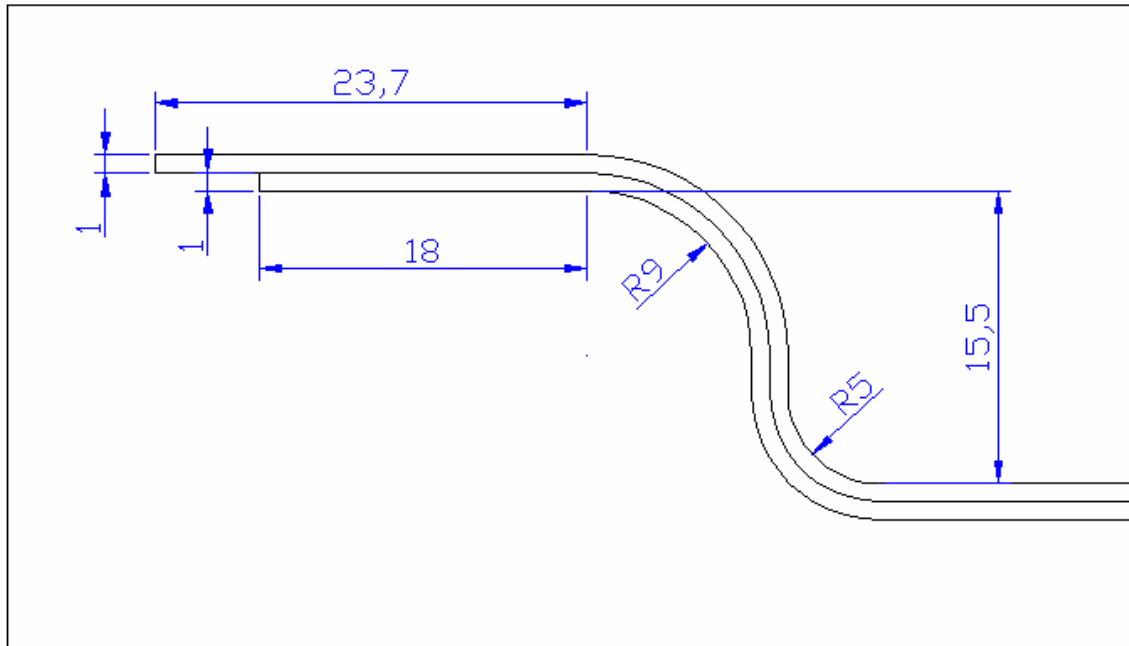


Fig 6.25 Geometria definitiva de les tapes

Es poden observar tant la tapa davantera com la tapa posterior totalment detallades en els plànols 4 i 6.

## 6.3 Parets interiors

A l'interior del cos del silenciós s'allotgen tres parets que serveixen per a formar quatre cavitats diferenciades dins d'aquest, aquestes cavitats s'utilitzen per a provocar diferents efectes d'atenuació sonora, en concret ressonadors laterals i expansions.

Les peces estaran formades per una xapa d'1 mm de gruix d'acer AISI-304. En aquest cas ja no fa falta recórrer al solapat de dues xapes, aquest mètode s'ha emprat a les peces que componen la carcassa per a donar al muntatge més resistència, però la funció de les parets interiors és únicament la de separar cavitats interior i per tant no requereixen aportar resistència al conjunt.

Hi haurà dos tipus de parets interiors, totes tenen un forat per on s'introduirà un tub de 53 mm de diàmetre exterior, la diferència entre elles es que una tindrà aquest forat situat al centre geomètric de la peça, i les altres dues el tindran desplaçat cap a una de les vores. Aquests forats estaran en consonància amb els existents a les tapes ja que hauran de conduir els tubs cap a l'interior dels silenciós.

Per motius de fabricació, aquestes parets han de tenir un plegament perpendicular a la seva base en tot el seu perímetre. Això s'utilitzarà per a una bona unió amb la carcassa, ja que mitjançant una màquina especial, realitzarem punts de soldadura al voltant d'aquest plegament i així les parets quedaran fermament unides al cos del silenciós.

El procés de producció d'aquestes tres peces consistirà en dues etapes diferenciades, resumidament són les següents:

- Tallat de la xapa a la geometria necessària per a que després de realitzar el procés posterior s'obtinguin les mesures adequades. Abans de tallar el perfil de la peça, es tallen els forats dels tubs.
- Embotició de la xapa obtinguda a la primera operació per aconseguir el plegament abans descrit.

Aquestes dues fases es poden observar de forma gràfica a l'apartat de plànols: la geometria de tall als plànols número 7 i 9, i la peça acabada als números 8 i 10.

Posteriorment realitzarem un estudi del procés d'embotició on calcularem els seus paràmetres i comprovarem aquests resultats amb el disseny original de les peces per si hem de fer alguna modificació. Amb l'estudi d'aquest procés també trobarem la geometria inicial de la peça abans de l'embotició, o sigui, sabrem quina serà la geometria de tall de xapa de les parets. D'aquesta manera quedaran les peces estudiades totalment definides.

Es pot consultar la secció de planols per veure els plànols que es van fer per aquestes dues peces al projecte de disseny (en realitat són tres peces però dues són iguals).



### 6.3.1 Estudi del procés d'embotició

Com vam veure en l'apartat de processos productius, aquest procés consisteix en obligar a la peça a entrar en una matriu mitjançant un punxó.

Per a estudiar aquest procés existeixen unes relacions que ens donen el radi mínim de punxó i matriu per a que el material no sigui perjudicat pel plegament creat en aquest procés. Les relacions es poden veure a l'apartat de processos productius i en el nostre estudi són les següents:

- **Radi del punxó:**

$$R_p = 5e = 5 \cdot 1 \text{ mm} = 5 \text{ mm}$$

On  $e$  és l'espessor del material.

- **Radi de la matriu:**

$$\text{Si } 1 < e < 3 \text{ mm} \Rightarrow R_m = (de 4 a 6) \cdot e = 5 \cdot e = 5 \text{ mm}$$

- **Joc entre punxó i matriu:**

$$Joc = e \cdot 1,1 = 1 \text{ mm} \cdot 1,1 = 1,1 \text{ mm}$$

En la fabricació d'aquestes peces el radi que més ens importarà serà el del punxó, ja que serà el que quedarà plasmat a les parets, el radi de la matriu només ens serveix per a que no tinguem problemes durant la fabricació, perquè les parets únicament tenen un plegament en direcció perpendicular a la xapa original.

Si observem els plànols del disseny original ens adonem que el radi de plegament, que és el radi del punxó, és massa petit. Haurem de modificar el disseny per a no tenir problemes amb la resistència del material, a la figura posterior s'observa aquesta modificació:

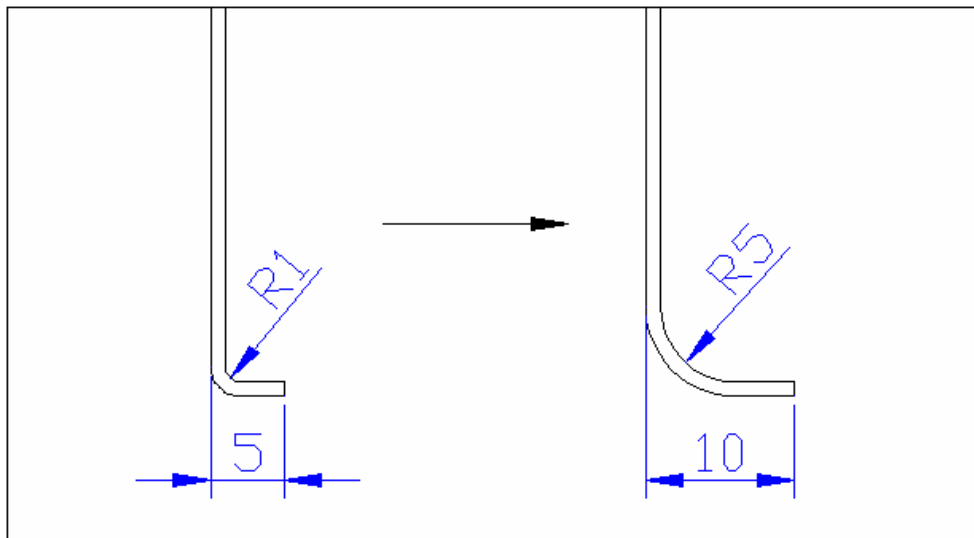


Fig 6.26 Modificació del radi d'embotició de les tapes

Com es pot veure a la figura anterior, també hem hagut de modificar la profunditat d'embotició, ja que sinó no ens quedava un cilindre pla per a realitzar la soldadura al la carcassa.

La mesura exterior de les parets serà una secció ovalada d'eix major 196 mm i eix menor 136 mm, que és la mesura interior de la carcassa. En aquest cas no deixarem cap marge al voltant de la secció com hem fet amb les tapes ja que al ser una unió soldada primer hem d'introduir la peça fins a la posició adequada i després realitzar la soldadura, per aquesta raó ens interessa que la peça s'introdueixi de forma ajustada per a que no hi hagi cap moviment abans de procedir amb la soldadura.

### 6.3.2 Càlcul de la secció inicial

Per a calcular la secció de l'elipse que haurem de tallar de la xapa d'1 mm i posteriorment embotir-la per arribar a les parets acabades, mesurarem la longitud total de la fibra neutra de la peça en l'eix major i en l'eix menor de l'elipse, és el mateix procediment que hem fet servir per a calcular la secció inicial de les tapes.

Longitud de l'eix major:

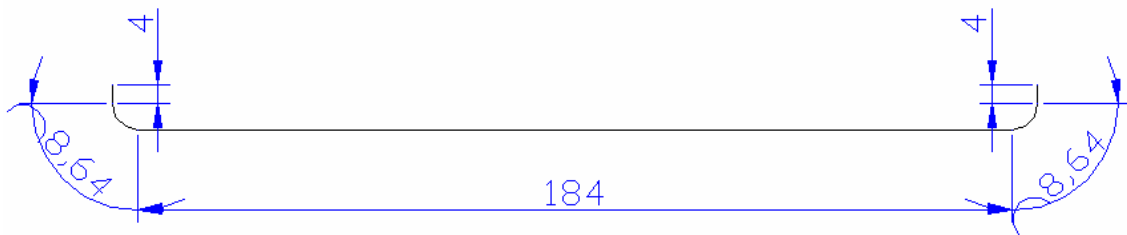


Fig 6.27 Càlcul de la longitud de l'eix major de l'elipse

$$\text{Eix major} = 184 + 8,64 + 8,64 + 4 + 4 = 209,28 \text{ mm}$$

Longitud de l'eix menor:

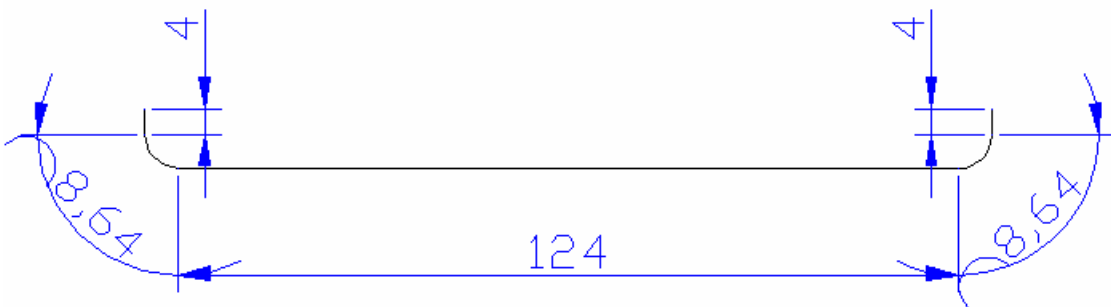


Fig 6.28 Càlcul de la longitud de l'eix menor de l'elipse

$$\text{Eix menor} = 124 + 8,64 + 8,64 + 4 + 4 = 149,28 \text{ mm}$$

## Anàlisis de resultats

Ja tenim les mesures de la secció de xapa que haurem de tallar per a formar les parets, serà una elipse de les característiques següents:

$$\text{Elipse original: } \begin{cases} \text{eix major} = 209,3 \text{ mm} \\ \text{eix menor} = 149,3 \text{ mm} \end{cases}$$

En aquest cas, al contrari que amb la carcassa i les tapes, hem aproximat el valor a dècimes de mil·límetre al valor més proper. Ara no hi ha cap problema per a que el valor sigui una mica superior al calculat, això ho vam evitar a les altres peces perquè havien d'intervenir en una operació d'agrafat, però en el cas actual ens dona igual si el valor exacte s'augmenta o es disminueix alguna fracció de mil·límetre, ja que en l'únic que afectarà aquest valor serà en la zona on es farà la soldadura.

Hem de recordar que abans de tallar la geometria d'aquesta elipse hem de tallar la circumferència que forma el forat del tub (que segons la paret que sigui estarà al centre o desplaçat a un lateral), ja que d'aquesta manera les peces encara formen part de la xapa i és més fàcil tallar els forats.

## 6.4 Tubs

En el silenciós que volem fabricar hi ha un parell de tubs que van des de fora del cos fins a una de les parets interiors, entra un per cada costat i no hi ha cap tub que sigui totalment interior.

Aquests tubs que utilitzarem pel nostre muntatge seran de 50 mm de diàmetre interior i 53 de diàmetre exterior, o sigui, tindran un gruix d'1,5 mm. Estaran fabricats amb acer inoxidable AISI-304 igual que les demés peces metàl·liques del silenciós.

Com hem dit tenim dos tipus de tubs diferents:

- Un serà el tub d'entrada al silenciós, que s'haurà d'unir al tub d'escapament que estigui al vehicle, serà el punt d'acoblament del nostre producte amb el vehicle on s'hagi d'instal·lar. Aquest tub portarà un ranurat a l'extrem exterior que s'utilitzarà per a facilitar la unió amb el vehicle, pressionant aquesta secció ranurada contra el tub d'escapament mitjançant una abraçadora.
- L'altre tub serà el de sortida del silenciós cap a fora, serà l'encarregat de portar els gasos d'escapament del vehicle a l'exterior. La part final d'aquest tub serà la única que es veurà a simple vista quan estigui col·locat al vehicle, per aquesta raó es realitzarà un procés d'acabament d'extrems de tubs al cantell de fora, per a obtenir una millor vista de l'extrem (a l'apartat de processos productius s'expliquen aquestes operacions).

Els tubs s'adquiriran ja fabricats a un proveïdor, però nosaltres haurem de produir alguna transformació. Aquestes transformació es poden resumir de la manera següent:

- Tallat dels tubs a la mesura que necessitem, que serà 270 mm tant pel tub d'entrada com pel de sortida.
- Perforació dels tubs en una secció definida seguint una determinada relació entre els forats. Els detalls d'aquestes perforacions es poden observar als plànols 11 i 12 pel tub d'entrada i de sortida respectivament.
- Producció del ranurat de l'extrem del tub d'entrada.
- Arrodoniment de l'extrem del tub de sortida.

### 6.4.1 Tallat dels tubs

Els tubs que utilitzarem per a fabricar aquestes peces s'adquiriran d'algun proveïdor d'aquest tipus de materials, els tubs que es comprin tindran una llargada determinada i el que haurem de fer en la nostra fàbrica serà tallar els tubs a la llargada que necessitem per a produir les peces, que com ja hem dit amb anterioritat seran retalls de 270 mm de llargada.

Per a produir aquest tall utilitzarem una màquina especial de tallat de tubs, i quan surtin d'aquí es portaran a la següent etapa de producció.

En aquesta fase encara no farem cap distinció entre tub d'entrada i tub de sortida, recordem que els dos tubs han de tenir la mateixa llargada.

## 6.4.2 Punxonat dels tubs

Una vegada tenim tots els tubs a la mateixa llargada, el següent que s'ha de fer és produir els forats que necessita el disseny. Aquesta operació es realitzarà mitjançant una màquina especialment dissenyada per aquest fi, que disposarà d'una matriu de la mesura interior dels tubs per a que al realitzar el punxonat no cedeixi la paret del tub i es provoquin clots. Per a més informació sobre aquesta màquina consultar a l'apartat de maquinaria.

Les perforacions de les que parlem estaran situades a una determinada secció del tub, a més tindran una distribució determinada que no es podrà variar per cap circumstància, ja que aquesta és la forma i posició dels forats que va ser estudiada al seu moment durant el disseny del silenciós, degut al seu efecte com a ressonador lateral en l'atenuació sonora que produirà aquest producte. La forma i distribució dels forats està reflexada als plànols 11 i 12.

En aquesta operació tampoc hem fet referència a si es tracta del tub d'entrada o de sortida, la raó es que els dos tubs han de tenir el mateix nombre, distribució i posició dels forats, encara parlem de tubs idèntics.

## 6.4.3 Ranurat de l'extrem del tub d'entrada

L'extrem més allunyat de la part foradada del tub d'entrada, disposa de dues ranures longitudinals, oposades a punta i punta del diàmetre del tub. Aquesta extracció de material està dissenyada amb el fi de permetre una bona unió amb el tub que vindrà de l'escapament del vehicle, que s'introduirà dins d'aquest tub del silenciós i amb l'acció d'una abraçadora es produirà una petita contracció de l'extrem ranurat que el fixarà al tub d'escapament.

Aquesta operació és realitzarà també amb una màquina especial, que descriurem posteriorment a l'apartat de maquinaria.

No cal dir que aquestes ranures només es faran al tub d'entrada del silenciós. Aquesta serà la única diferència existent entre els dos tubs, l'operació d'acabament de l'extrem del tub.

## 6.4.4 Arrodoniment de l'extrem del tub de sortida

Igual que hem de realitzar una operació d'acabament d'extrem de tubs al tub d'entrada, al de sortida també es realitzarà un d'aquests processos.

En aquest cas la modificació de l'extrem serà de tipus estètica, s'efectuarà un arrodoniment a l'aresta exterior de la punta ja que és la part del tub que es pot observar quan mirem un vehicle per la part posterior, és l'anomenada sortida d'escapament o cua d'escapament.

Aquesta acció s'efectuarà amb maquinaria especial en la que introduint l'extrem del tub es produirà aquest efecte.

## 6.5 Sistema d'ancoratge

El sistema d'ancoratge és un conjunt de peces que no formen part del cos del silenciós, que estan destinades a realitzar la funció d'unir el silenciós al xassís del vehicle. A més d'aquesta funció principal d'unió, aquest sistema també realitzarà la funció d'absorbir les vibracions que s'ocasionin al silenciós durant el seu funcionament, degudes a la circulació del flux de gasos d'escapament pel seu interior, per a que no es transmetin a l'habitacle del vehicle i causi molèsties als seus ocupants.

Tot aquest conjunt estarà multiplicat per dos, ja que es col·locarà el mateix conjunt a extrem i extrem del cos del silenciós. Les parts que conformen aquest sistema són les següents:

- 2 peces conformades amb xapa metàl·lica que funcionen com a base de subjecció i aniran cargolades al xassís del vehicle.
- 2 peces formades de cautxú que s'encarregaran d'absorbir les vibracions.
- 2 barretes del mateix metall que uniran el silenciós amb les peces de cautxú.
- 2 cargols i 2 femelles de cargol que serviran com a subjecció de les peces de cautxú amb les bases metàl·liques.
- 4 cargols de subjecció per a enganxar les bases de xapa metàl·lica al xassís del vehicle.

Tot aquest conjunt s'oferirà als clients del producte com a complement al silenciós, encara que es pot donar el cas en que el vehicle on s'hagi de muntar el nostre silenciós ja disposi d'un sistema d'ancoratge del silenciós anterior que es pugui adaptar al nostre disseny.

El muntatge de totes aquestes peces en relació amb el silenciós es pot observar al plànol 18. A continuació es descriuran de forma més detallada tots els components d'aquest sistema.

### 6.5.1 Base metàl·lica

És una peça que s'utilitza com a unió de tot el muntatge del silenciós amb el vehicle. Es fan servir dues peces iguals, una a cada extrem del silenciós.

En el nostre cas utilitzarem dues peces formades de xapa metàl·lica de 2 mm de gruix d'acer inoxidable AISI-304.

El mètode de fabricació consistirà en un procés de plegament de xapa, que pas a pas conformarà la peça final. Partirem d'una geometria base que ha estat calculada a partir de la peça ja acabada mitjançant el software informàtic Autodesk Inventor 9, aquesta geometria es tallarà de la xapa metàl·lica i a partir d'aquí es produiran els plegaments que transformaran la xapa en la peça que necessitem. La geometria de tall de la xapa i la forma de la peça acabada es poden observar detalladament als plànols 15 i 16 respectivament. A continuació es pot veure el desenvolupament de la seqüència de plegament de la peça:



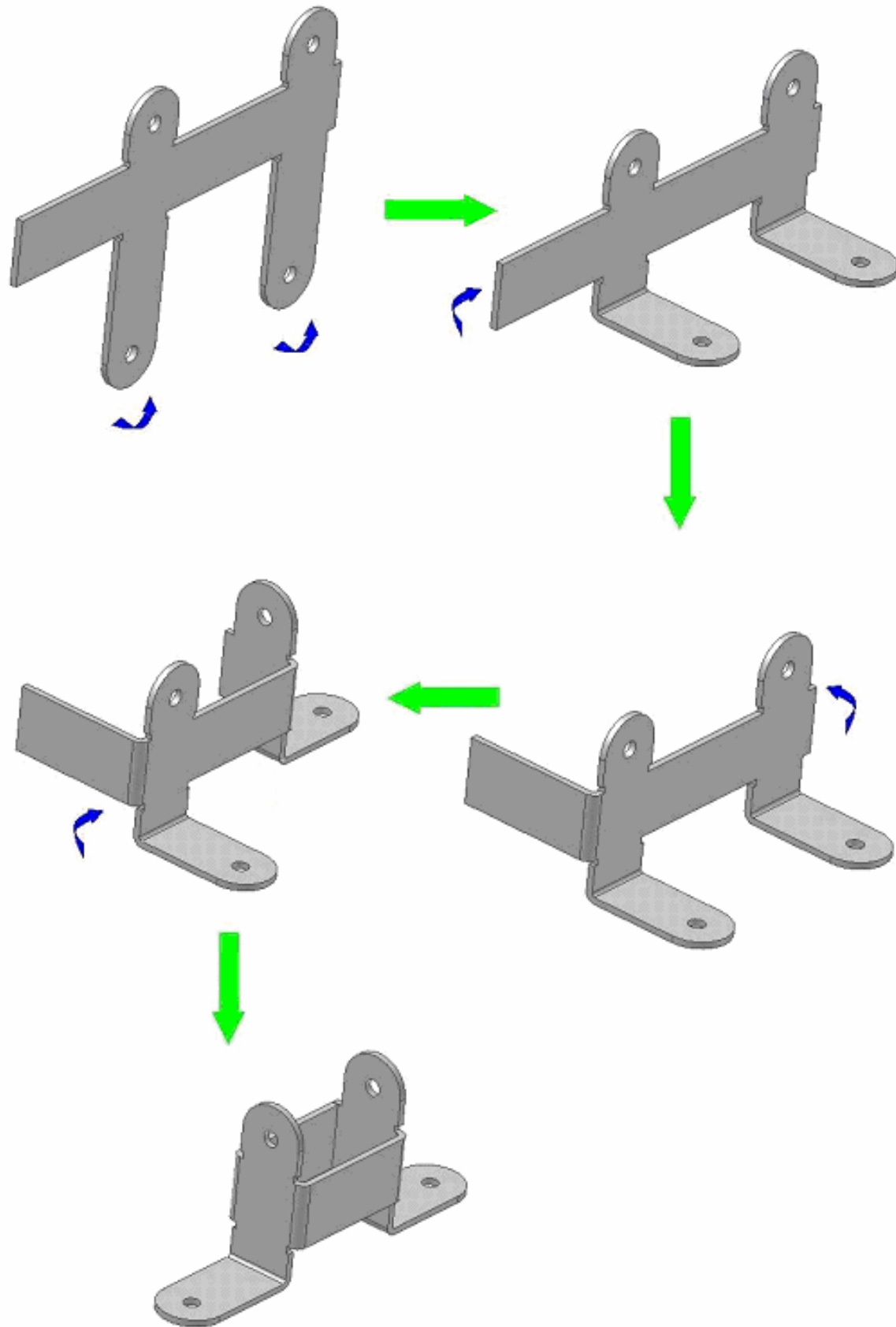


Fig 6.29 Fases de plegament de la base metàl·lica d'ancoratge

Com es pot observar la peça porta unes perforacions que s'utilitzaran per a passar els cargols. Per les perforacions de la base passaran els dos cargols de subjecció fins al xassís del vehicle, i per les perforacions de les altres patilles passarà el cargol que es fixarà amb la femella de cargol a l'altre extrem i aguantarà a la peça de cautxú.

Com en el cas de les dues tapes de la carcassa i les parets interiors, aquests forats es realitzaran a la xapa metàl·lica abans de tallar tot el perfil de la peça.

Per a realitzar l'últim plegament, haurem de utilitzar un utillatge especial de la plegadora de xapa, que ens permetrà plegar la peça formant un espai tancat i després extreure-la de la màquina. Aquest utillatge es pot observar a l'apartat de maquinària.

## 6.5.2 Peces de cautxú

Són un parell de peces que tenen la missió d'absorbir les vibracions que es causen al silenciós.

Els gasos d'escapament d'un vehicle surten amb una gran energia cap a l'exterior causada per la explosió que han sofert a l'interior dels cilindres, quan aquests gasos passen per l'interior del silenciós es troben amb un conjunt d'impediments en la seva trajectòria (cambres d'expansió, ressonadors...) que li provoquen una pèrdua d'aquesta energia (i per suposat també potència sonora), que es tradueix en la formació de vibracions al cos del silenciós. Aquestes vibracions han de separar-se de l'habitacle del vehicle per a que no perjudiqui la comoditat dels seus ocupants, i això s'aconsegueix amb una unió flexible del silenciós al xassís.

Aquesta peça ha de ser el suficientment flexible per a absorbir totes les vibracions, però a la vegada el suficientment resistent per a que no es trenqui degut al pes del cos del silenciós i les vibracions que suporta. Això s'aconsegueix amb el cautxú que és un material que reuneix aquestes característiques, el material utilitzat en concret s'anomena cautxú EPDM i les seves característiques es poden observar a l'apartat de materials.

La geometria consta d'un cos massís d'aquest material amb un parell de perforacions a cada extrem, una per a passar el cargol que la subjecta amb la base i l'altra per a passar la barreta que s'uneix amb el cos del silenciós. A la part central també s'ha efectuat una extracció de material per a que resulti més flexible.

La fabricació d'aquesta peça s'encarregarà a una empresa especialitzada en aquest sector, que ens enviarà periòdicament un conjunt determinat de les peces que necessitem per a insertar al nostre producte. En concret podrem obtenir aquestes peces per encàrrec a l'empresa Tellerborg Ibercauaho Álava SA, empresa especialista en la tecnologia de polímers.

### 6.5.3 Barretes d'acer inoxidable

Per a unir el silenciós a les peces de cautxú es recorrerà a unes barretes del mateix material metàl·lic utilitzat en la resta de components de 10 mm de diàmetre.

Aquestes barretes es fabricaran amb una plegadora especial, que es descriu a la secció de maquinària, que li provocarà el corbament necessari per a que agunti al silenciós en la posició necessària.

Una part d'aquestes barretes aniran soldades a les tapes del silenciós, tocant a la part que sobresurt de l'agrafat, i l'altre extrem es col·locarà a la peça de cautxú, per aquesta raó quan estigui col·locat haurà de fer-se un petit reblat per a que no es pugui sortir.

### 6.5.4 Cargols

Com ja hem dit amb anterioritat utilitzarem un parell de cargols per a unir cada base metàl·lica al xassís del vehicle, o sigui, necessitarem quatre cargols en total d'aquestes característiques per a cada silenciós produït.

Per aquesta funció farem servir cargols de rosca xapa autotrepants DIN 7504-K, i tindran unes mesures de 4,8 x 16 mm.

Per a subjectar les peces de cautxú amb la base metàl·lica també utilitzarem un cargol i en aquest cas s'aguantarà per l'altre costat amb una femella de cargol. Ens faran falta dos cargols i dues femelles de cargol d'aquestes característiques per a cada muntatge.

En aquest cas utilitzarem cargols de rosca mètrica DIN 933-4.8. amb mesures de 5 x 55 mm. Les femelles per als cargols seran de tipus autoblocant DIN 985 de rosca mètrica de 5 mm.

## 7 MUNTATGE DE LES PECES DINS DEL SILENCIÓS

Una vegada que disposem de totes les peces fabricades arriba el moment de començar la seva col·locació per aconseguir la formació del silenciós, que és el nostre producte final que distribuïrem als nostres clients.

El nostre producte, com s'ha comentat amb anterioritat, anirà acompanyat dels elements necessaris per a realitzar el seu muntatge al vehicle. D'aquesta manera a cada client es donaran les peces següents:

- 1 silenciós totalment muntat i acabat.
- 1 abraçadora per a realitzar la unió amb el tub d'escapament.
- 2 bases metàl·liques d'ancoratge amb el xassís del vehicle.
- 2 peces de cautxú per absorbir vibracions.
- 2 barretes de 10 mm de diàmetre per unir el silenciós amb l'ancoratge.
- 2 cargols per unir les peces de cautxú amb les bases de metall.
- 2 femelles de cargol per aguantar els cargols anteriors.
- 4 cargols de subjecció de les bases metàl·liques amb el xassís del vehicle.

Amb aquest conjunt de peces cada usuari tindrà tot el material necessari per a col·locar el silenciós al seu vehicle.

D'aquesta manera, la nostra feina després de la fabricació de totes les peces serà el muntatge de tots els components per a formar el silenciós.

Totes les peces han de col·locar-se a una posició determinada i s'haurà de tenir la major cura possible per a que estiguin a la posició exacta en que s'han dissenyat. El disseny s'ha basat en relacions sobre la pèrdua de càrrega sonora i per tant s'ha calculat l'efecte d'atenuació sonora a partir de la situació concreta de totes les peces, per tant, una variació en la col·locació d'alguna de les parets interiors podria ocasionar un comportament diferent al estudiat respecte la pèrdua de càrrega sonora.

Per analitzar el muntatge de tots els components realitzarem un estudi seqüencial, on es descriurà pas a pas cada variació que es fa al conjunt i la incorporació de cada peça per a que el procés sigui el més clar possible.

### 7.1 Muntatge de les peces interiors

El primer pas que haurem de realitzar en el muntatge del nostre producte serà l'acoblament del sistema que hem d'introduir a dins de la carcassa.

A l'interior del cos del silenciós s'hauran d'introduir tres parets de separació d'estances i un parell de tubs foradats. Però abans d'introduir-los dins de la carcassa s'hauran d'acoblar amb l'ajuda d'una premsa especial que ens permet introduir els dos tubs a dins del forat que s'ha previst a les parets, on s'ha dissenyat un ajust fix.

D'aquesta manera obtindrem tres conjunts diferents per introduir dins del silenciós:

- Una paret aïllada que es situarà entremig de les altres dues, però estarà lleugerament descentrada dins de la carcassa. Aquesta serà una de les parets amb el forat descentrat.
- Una paret unida amb el tub d'entrada. Aquesta serà la paret amb el forat centrat i el contorn plegat de la peça es col·locarà en sentit al tub. El tub s'introduirà pel forat fins a que sobresurti mig centímetre (aquest valor no ha de ser necessàriament exacte).
- L'altra paret amb el forat descentrat unida al tub de sortida. Igual que en el cas anterior el plegament de la paret es col·locarà en sentit al tub i el tub penetrarà mig centímetre.

Aquests tres muntatges es poden observar en la figura següent:



*Fig 7.1 Paret aïllada*



*Fig 7.2 Paret amb forat descentrat i tub de sortida*



*Fig 7.3 Paret amb forat centrat i tub d'entrada*

## 7.2 Col·locació de les peces interiors a la carcassa

Una vegada tenim muntades totes les peces interiors, el següent pas serà introduir-les i unir-les amb la carcassa.

Les parets interiors estan dissenyades amb una tolerància bastant ajustada en relació a la carcassa, per aquesta raó també ens haurem de valer de maquinària especial per a introduir-les al seu interior. Aquesta maquinària portarà uns reglatges condicionats per a que cada peça quedi situada exactament al seu lloc.

Una vegada que les peces s'hagin introduït en la seva posició final, s'utilitzarà una altre tipus de maquinària especial per a realitzar un conjunt de soldadures per punts que fixaran completament les parets a la carcassa, utilitzant el plegaments que se'ls hi ha aplicat amb l'embotició.

A continuació es detalla la seqüència de col·locació i soldadura de les peces:

- Pas 1: introducció de la paret intermitja:

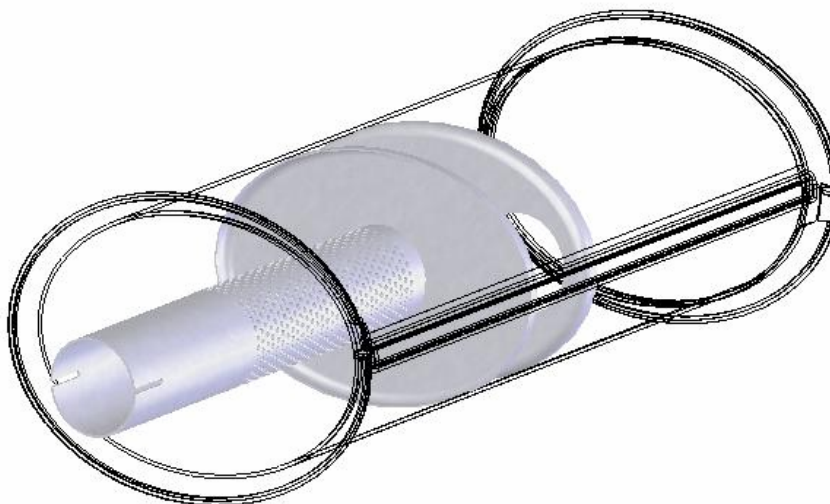


*Fig 7.4 Introducció de la paret intermitja*

- Pas 2: soldadura de la paret intermitja a la carcassa.

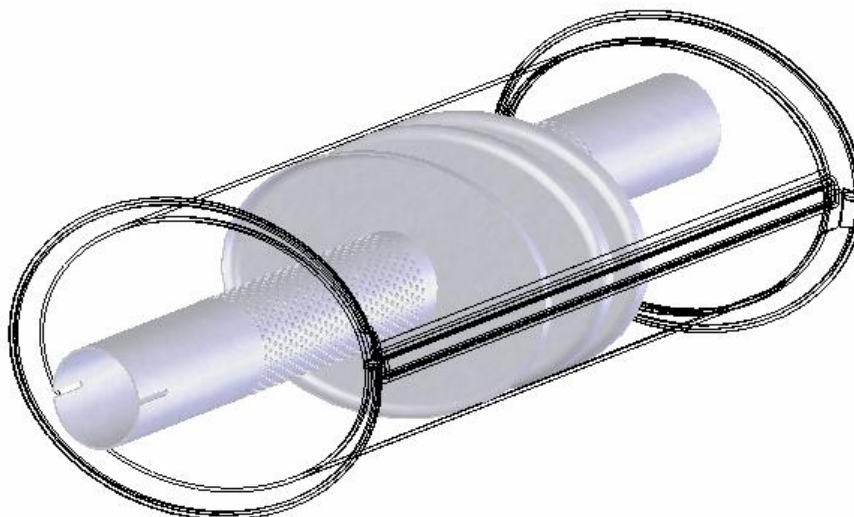
Aquesta soldadura es realitza abans que la dels altres dos components ja que sinó ens destorbarien les altres dos parets que estarien al davant i no deixarien entrar els capçals de soldadura.

- Pas 3: introducció de la paret amb forat centrat i el tub d'entrada:



*Fig 7.5 Introducció de la paret amb forat centrat i tub d'entrada*

- Pas 4: introducció de la paret amb forat descentrat i el tub de sortida:



*Fig 7.6 Introducció de la paret amb forat descentrat i tub de sortida*

- Pas 5: soldadura de les parets amb tub a la carcassa.

Utilitzant la màquina especial de la que s'ha parlat amb anterioritat, que disposa d'una matriu que s'introdueix a dins de la carcassa fins arribar a les parets, es posiciona el muntatge a la posició adequada i s'activa per a que uns capçals de soldadura realitzin diversos punts de soldadura. La matriu d'aquesta màquina disposa de forats per a que s'introdueixin els tubs i no destorbin en el procés. Una



vegada s'ha realitzat l'operació amb una de les parets, s'extreu el conjunt, es gira i es torna a introduir per l'altre costat per a soldar l'altra paret.

Després d'aquest procés el silenciós ha adquirit aquesta forma:



*Fig 7.7 Conjunt després de la col·locació de les parets interiors*

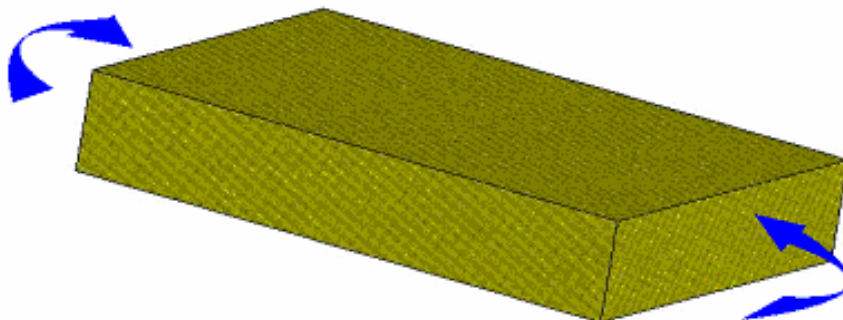
## 7.3 Introducció del material absorbent

Una vegada tenim el silenciós en aquesta situació, hem de realitzar la introducció de la fibra de vidre a les dues estances dels extrems.

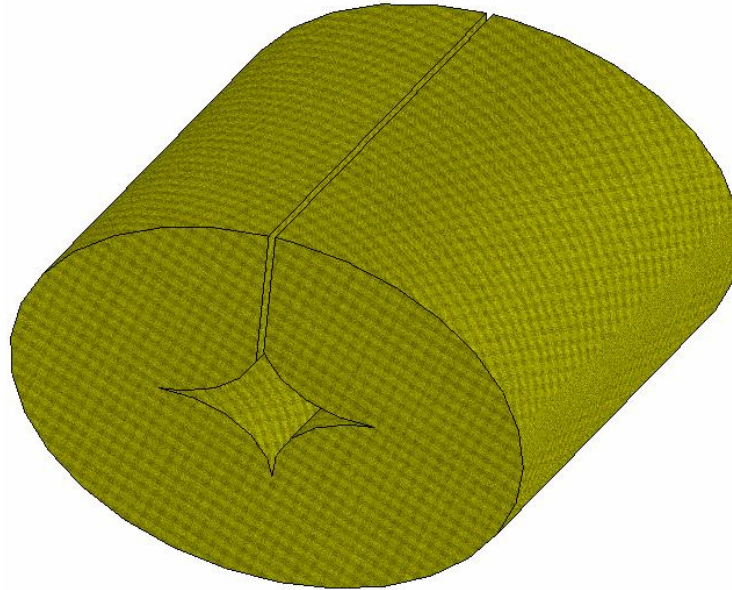
La manta de material absorbent s'ha de tallar a la mesura adequada, aproximadament 165 x 256 mm, i a continuació introduir-la envoltant als tubs.

Aquest és el procediment per introduir el material absorbent en el format recomanat, que serà manta de fibra de vidre de 50 mm de gruix de 34 kg/m<sup>3</sup>, encara que si el fabricant ho trobés més adient es podrien utilitzar altres formats, com per exemple borra (fibres a granel). En qualsevol cas, sigui quin sigui el format, s'ha d'assegurar una densitat mínima de farciment de les cambres de 34 kg/m<sup>3</sup>.

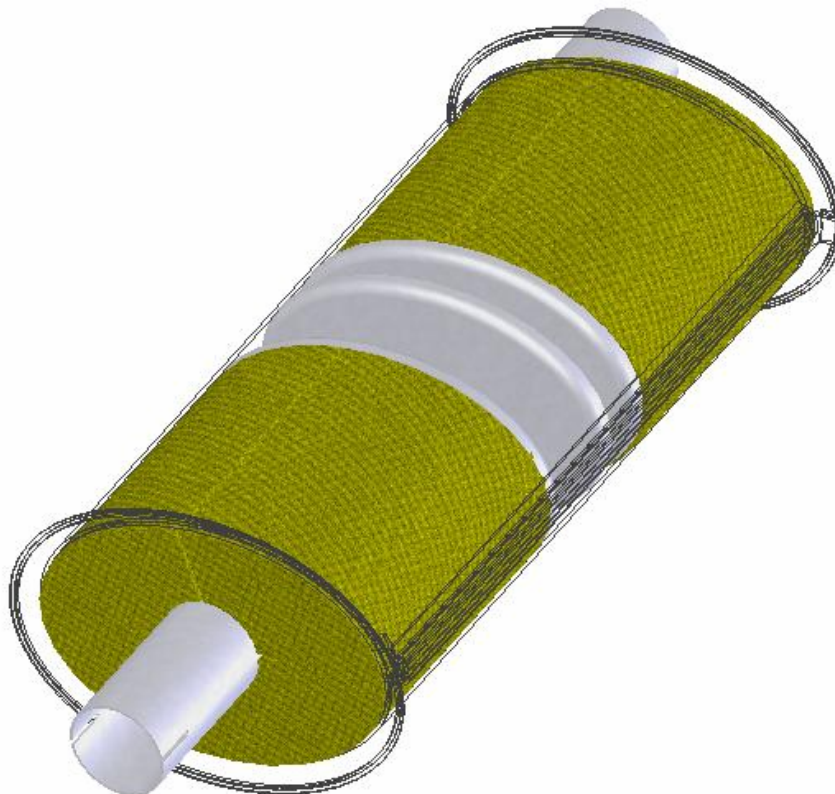
A continuació es realitza una demostració del procediment explicat:



*Fig 7.8 Retall de llana de vidre que es col·locarà a l'interior del silenciós*



*Fig 7.9 Plegament de la fibra a la forma aproximada de la cavitat*



*Fig 7.10 Detall de la col·locació de la fibra*



*Fig 7.11 Configuració final del silenciós després d'aquesta operació*

Per a realitzar tota aquesta operació es disposarà d'un banc de treball que es destinarà exclusivament a aquest fi.

## **7.4 Col·locació de les tapes de la carcassa**

Arribats a aquest punt ja disposem de la carcassa amb tots els seus elements interiors col·locats cadascun a la seva posició.

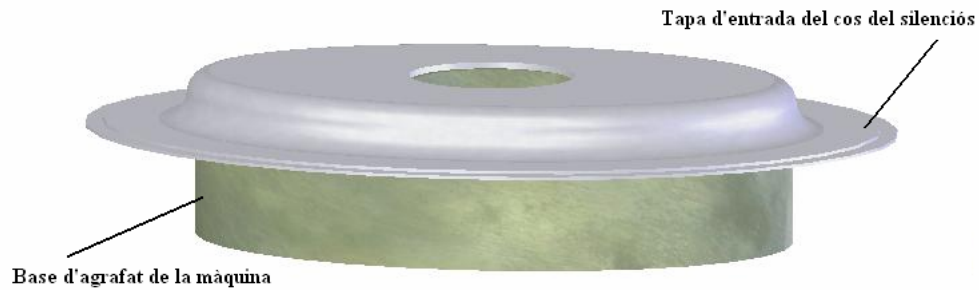
El pas següent en la fabricació del producte serà unir aquest muntatge amb les dues tapes externes per a tancar el cos del silenciós.

Com ja s'ha explicat anteriorment la carcassa i les tapes s'uniran mitjançant un agrafat doble de les xapes que les formen. Aquest procés es durà a terme per medi d'una màquina especial per aquest fi que disposarà d'unes matrius especialment dissenyades pel nostre producte, que aniran guiant als corròs d'agrafat per a que uneixin les peces entre si. Aquestes matrius, que realitzen la funció de base d'agrafat descrita a l'apartat de processos productius, disposaran de forats dissenyats per a allotjar els tubs d'entrada o de sortida, per a que no resultin un impediment per al desenvolupament de l'operació d'unió.

Aquesta màquina especial té normalment dues configuracions bàsiques: pot treballar amb el producte en posició vertical o en posició horitzontal. En el nostre cas utilitzarem un model de configuració vertical. Per a més informació veure apartat de maquinària.

Els passos a seguir per a realitzar l'operació descrita són els següents:

- Pas 1: Col·locació de una de les tapes a la matriu o base d'agrafat inferior.



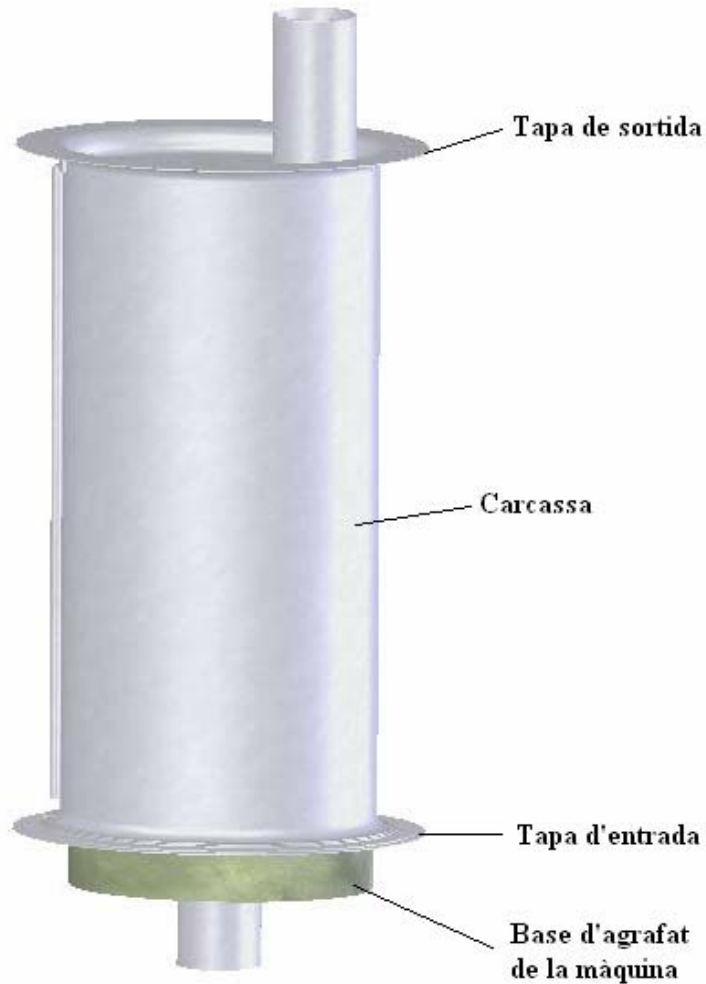
*Fig 7.12 Col·locació de una tapa a la matriu d'agrafat interior*

- Pas 2: Col·locació de la carcassa a sobre de la tapa.



*Fig 7.13 Col·locació de la carcassa a sobre de la tapa*

- Pas 3: Col·locació de l'altra tapa per tancar el cos.



*Fig 7.14 Col·locació de l'altra tapa*

- Pas 4: ficar en marxa la màquina. Baixa la matriu de la base superior d'agrafat, s'apropen els corrons d'agrafat i comencen a girar les bases per a produir l'agrafat doble.



*Fig 7.15 Funcionament de la màquina d'agrafat doble*

Pas 5: extracció de la peça acabada de la màquina.



*Fig 7.16 Silenciós després de l'agrafat doble*



## 7.5 Soldadura dels tubs amb les tapes

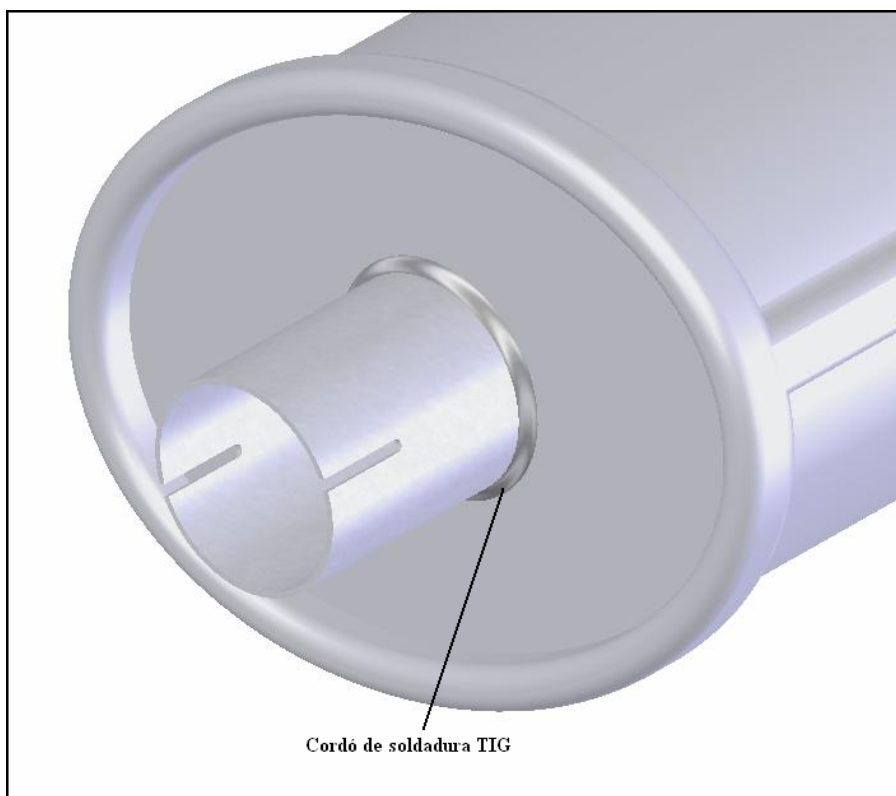
L'últim pas que ens quedarà per acabar completament el cos del silenciós serà realitzar una soldadura exterior entre les dues tapes de la carcassa i els tubs que sobresurten.

El forat que tenen les dues tapes per a passar els tubs, es fa amb un ajust lliscant per a que no representi un problema a l'hora de muntar el cos per a l'operació anterior. Aquesta es una de les raons per la que es realitza aquesta soldadura, per a que no hi pugui haver cap fuga de gasos per aquesta junta, que perjudicaria el bon funcionament del silenciós.

Aquesta soldadura serà del tipus TIG i es realitzarà mitjançant una taula especial de soldadura rotativa, que anirà aplicant un cordó de soldadura a través d'un capçal a cada extrem, a la vegada que la peça va girant.

S'ha escollit una soldadura tipus TIG ja que és un procés àmpliament utilitzat i molt adequat per a la unió d'alumini i d'acer inoxidable. Aquest procés té l'inconvenient que generalment és més lent i més costós que els processos de soldadura amb arc d'electrode consumible, exceptuant quan s'aplica en seccions primes (com és el nostre cas) i en soldadures que requereixen una qualitat molt alta. Ademés aquest sistema ens ofereix alguns avantatges com són que no hi ha escòria a eliminar, és un procés que es pot utilitzar en totes les posicions (cosa que el fa especialment apte per a soldar canonades), i que no hi ha esquitxades de soldadura que netejar.

El gas de protecció que s'utilitzarà serà l'Argó, perquè és més versàtil que l'Heli sobretot en seccions primes. El material d'aportació serà elèctrode de tipus E 308. En la figura següent es mostra en detall aquest cordó:



*Fig 7.17 Cordó de soldadura entre els tubs i les tapes*



## 7.6 Soldat de les barretes d'ancoratge

Quan arribem aquí tenim el cos silenciós totalment acabat, l'última operació que ens quedarà per realitzar serà la col·locació de les barretes que serviran per a unir amb la peça de cautxú del sistema d'ancoratge.

Aquestes barretes hauran de soldar-se a les tapes i estaran ubicades a la part inferior dins del sortint que fa l'agrafat, seguint la trajectòria ovalada.

El procés de soldadura també serà TIG i l'elèctrode tipus E 308, i es realitzarà manualment ja que és un procés senzill d'aplicació d'un cordó de soldadura.

El conjunt amb l'addició de les barretes quedarà de la següent manera:



*Fig 7.18 Conjunt amb les barretes d'ancoratge soldades*

Aquest és el producte totalment acabat, preparat per a la seva distribució. Com ja hem dit anteriorment una entrega del nostre producte constaria d'aquest cos de silenciós, una abraçadora metàl·lica per a la unió amb el tub d'escapament del vehicle, i el conjunt de peces que formen els ancoratges (bases metàl·liques, peces de cautxú i cargols).

## 7.7 Empaquetat del producte

Un cop que ja hem acabat de realitzar totes les operacions que componen el cos del silenciós, la operació final que faltará per acabar completament tot el procés productiu és l'embalat de totes les peces que formen el nostre producte.

Per a realitzar les operacions que es necessitin per a realitzar l'empaquetat disposarem d'un banc de treball per a facilitar i organitzar millor les tasques.

Per empaquetar el silenciós utilitzarem capsas de cartró que comprarem a algun fabricant especialitzat. Aquestes capsas estaran farcides d'un material de farcit especial per a omplir els buits entre la capsa i el silenciós i que aquest estigui més protegit, aquest material està format per suro en forma de petites boles.

Per una altra part utilitzarem una altra capsa de cartró per a col·locar els elements de fixació del silenciós. En una capsa més petita ficarem una abraçadora metàl·lica, dues bases metàl·liques d'ancoratge, dos peces de suro, dos cargols de fixació i un cargol i una femella per a aguantar la peça de suro. Aquesta capsa la introduïrem a l'interior de la capsa del silenciós i ja podrem tancar la capsa amb tots els components necessaris a dins, i ja estarà preparada per a la seva distribució.

Les mesures de les capsas que utilitzarem per a empaquetar tot el conjunt seran de 65 x 21 x 20 cm. Les capsas que contindran les altres peces soltes mesuraran 20 x 6 x 5 cm.

En l'apartat de catàlegs es poden veure els diferents productes que distribueix un fabricant de sistemes d'empaquetat.

## 8 ESTUDI DE LES INSTAL·LACIONS I DE LES CONSIDERACIONS QUE ES NECESSITEN PER ACOLLIR EL PROCÉS PRODUCTIU

A continuació realitzarem un anàlisi de les característiques que necessitarà posseir la nau o taller en que es vulgui desenvolupar l'activitat de producció del silenciós. Per a fer-ho el que estudiarem primer serà el flux productiu del producte, on es mostraran totes les tasques que s'han de realitzar pas a pas i donarà una idea de la cronologia que hauran de seguir per a que la fabricació es produeixi de manera eficaç.

Amb l'estudi del flux de producció podrem observar tota la evolució que segueix la fabricació de les peces i com totes les peces es van trobant en algun punt determinat i van donant forma poc a poc al que serà el silenciós acabat.

Una vegada tinguem ben present la cronologia ideal de les operacions i els punts d'intersecció entre les diferents peces, podrem començar un estudi de la situació òptima de cadascuna de les màquines necessàries (presentes a l'apartat de maquinària) per a que els recorreguts necessaris per anar d'una fase de producció a un altra sigui el més curt possible.

Un cop que tinguem situada tota la maquinària també podrem planificar una situació ideal per a la col·locació de zones d'acopi de materials, tant per les matèries primeres que es necessiten per a produir totes les peces, com una zona per a apilar els productes ja acabats esperant ser distribuïts. A partir d'aquí podrem calcular la superfície recomanada de la nau o taller on es vulgui desenvolupar l'activitat.

Per a aclarir millor la situació de les màquines i de les zones citades, al document de plànols es pot observar un exemple de col·locació de tots els espais dins d'una nau de les mesures ideals calculades. A demés també figura un plànol on es clarifiquen els fluxos productius.

En cas de que la producció del producte es vulgui desenvolupar en una edificació de mesures diferents a les recomanades, és important que es respecti al màxim la situació relativa de la maquinària dins del taller per a que aquesta variació no repercuteixi en una reducció del rendiment productiu. En cap dels casos es recomana que la nau tingui una superfície total inferior a la que es recomana en aquest document, ja que aquesta superfície calculada correspondrà a la mínima recomanada per a un bon funcionament de l'activitat. En el cas que la nau tingui una superfície considerablement superior a la recomanada s'hauria d'intentar que la col·locació de la maquinària no faci augmentar excessivament els recorreguts del cicle productiu.

Una vegada tinguem clar tots aquests aspectes, farem un càlcul aproximatiu del rendiment de la producció (unitats fabricades al dia) i del personal que es recomana per a desenvolupar l'activitat sense que es produeixin temps morts. A continuació es mostra un diagrama que clarifica el flux productiu del silenciós a fabricar:

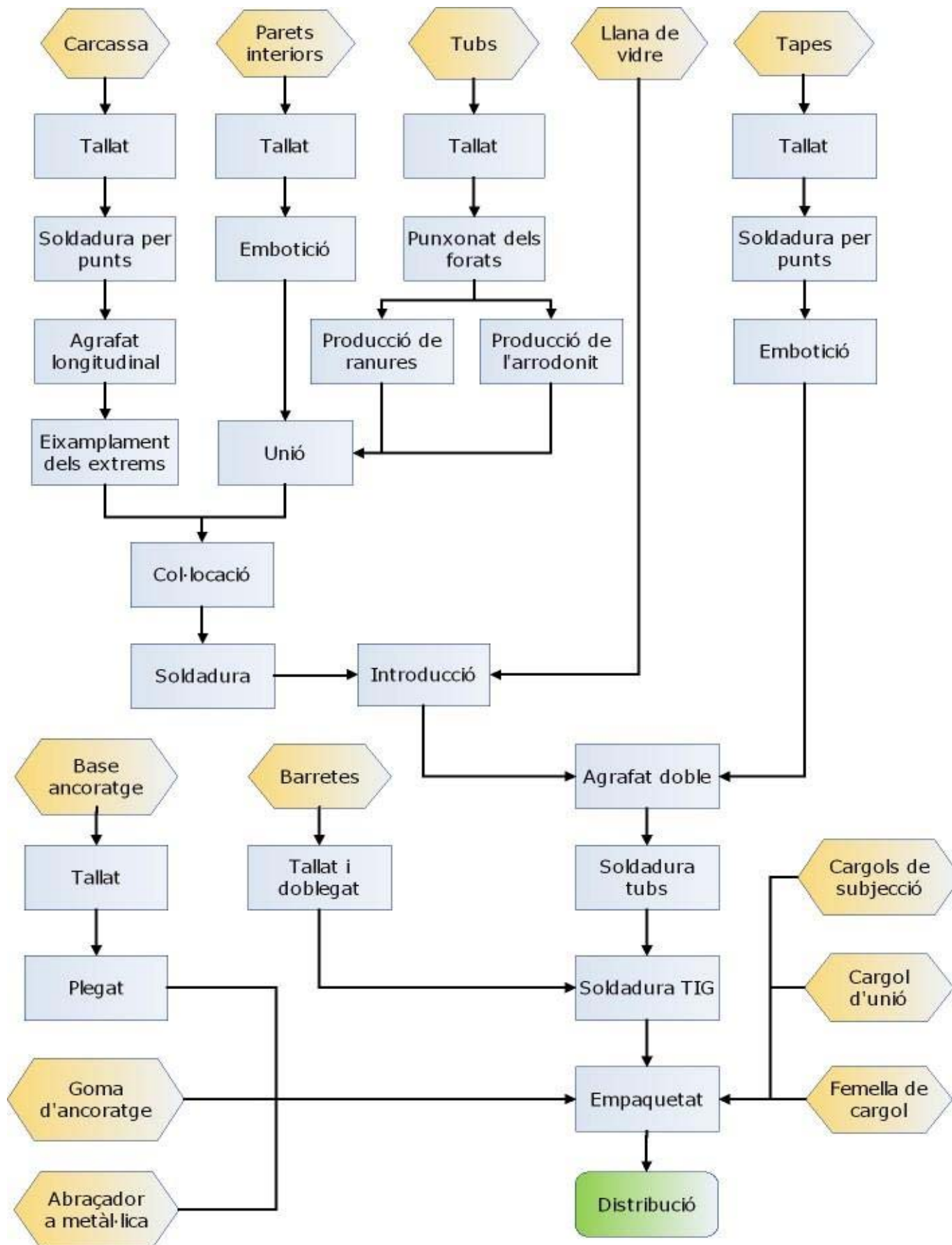


Fig 8.1 Flux productiu de la fabricació del silenciós

## 8.1 Estudi del flux de producció

Al diagrama de flux de la pàgina anterior s'ha marcat amb color groc totes les peces que intervenen al silenciós i amb color blau els processos productius necessaris que s'han d'anar assolint fins a la formació del producte final.

Tots els processos marcats en blau estan explicats i estudiats en apartats anteriors, però aquest flux ens mostra de manera clara la correlació de totes les operacions.

El diagrama va mostrant pas a pas les operacions que es realitzen amb cada peça, i es pot observar amb facilitat el moment del procés en que es troben les peces i comença la unió entre si.

A cadascun dels processos li correspon una màquina o equip en concret que serà utilitzat per obtenir el resultat buscat. D'aquesta manera a continuació anirem avançant a través del diagrama de flux per cada peça i anirem indicant una a una les màquines que aniran necessitant.

### Carcassa

- Talladora de xapa.
- Soldadora per punts.
- Agrafadora longitudinal.
- Eixampladora d'extrems.

A partir d'aquí es fiquen les parets interiors.

### Parets interiors

- Talladora de xapa.
- Premsa d'embotició.

Una vegada formades les parets, aquestes s'uneixen amb els tubs.

### Tubs

- Talladora de tubs.
- Punxonadora de tubs.
- Ranuradora d'extrems de tubs (tub d'entrada).
- Màquina per arrodonir extrems de tubs (tub de sortida).

### Parets interiors amb tubs

- Màquina de muntatge i introducció de les peces interiors.

## **Carcassa amb peces interiors**

- Màquina de muntatge i introducció de les peces interiors.
- Soldadora de parets interiors.

Una vegada aquí s'introdueix la llana de vidre.

## **Llana de vidre**

- Banc destinat a la col·locació de la llana de vidre a la carcassa.

## **Tapes**

- Talladora de xapa.
- Soldadora per punts.
- Premsa d'embotició.

En aquest punt es realitza la unió amb la carcassa.

## **Carcassa, peces interiors, llana de roca i tapes**

- Agrafadora doble.
- Taula de soldadura rotativa.

L'únic que falta ara es afegir les barretes d'ancoratge.

## **Barretes**

- Corbadora de barretes.

## **Carcassa, peces interiors, llana de roca, tapes i barretes**

- Soldador TIG.

## **Base d'ancoratge (peça independent)**

- Talladora de xapa.
- Plegadora de xapa.

En aquest moment només en queda realitzar l'empaquetat de totes les peces i estaran llestes per a ser distribuïdes.

## **Cos del silenciós, abraçadora, base d'ancoratge, goma d'ancoratge, cargols de subjecció, cargol d'unió de la base amb la goma, femella del cargol d'unió**

- Secció dedicada a l'empaquetat.

A continuació resumirem les màquines a utilitzar amb un altre diagrama de flux:



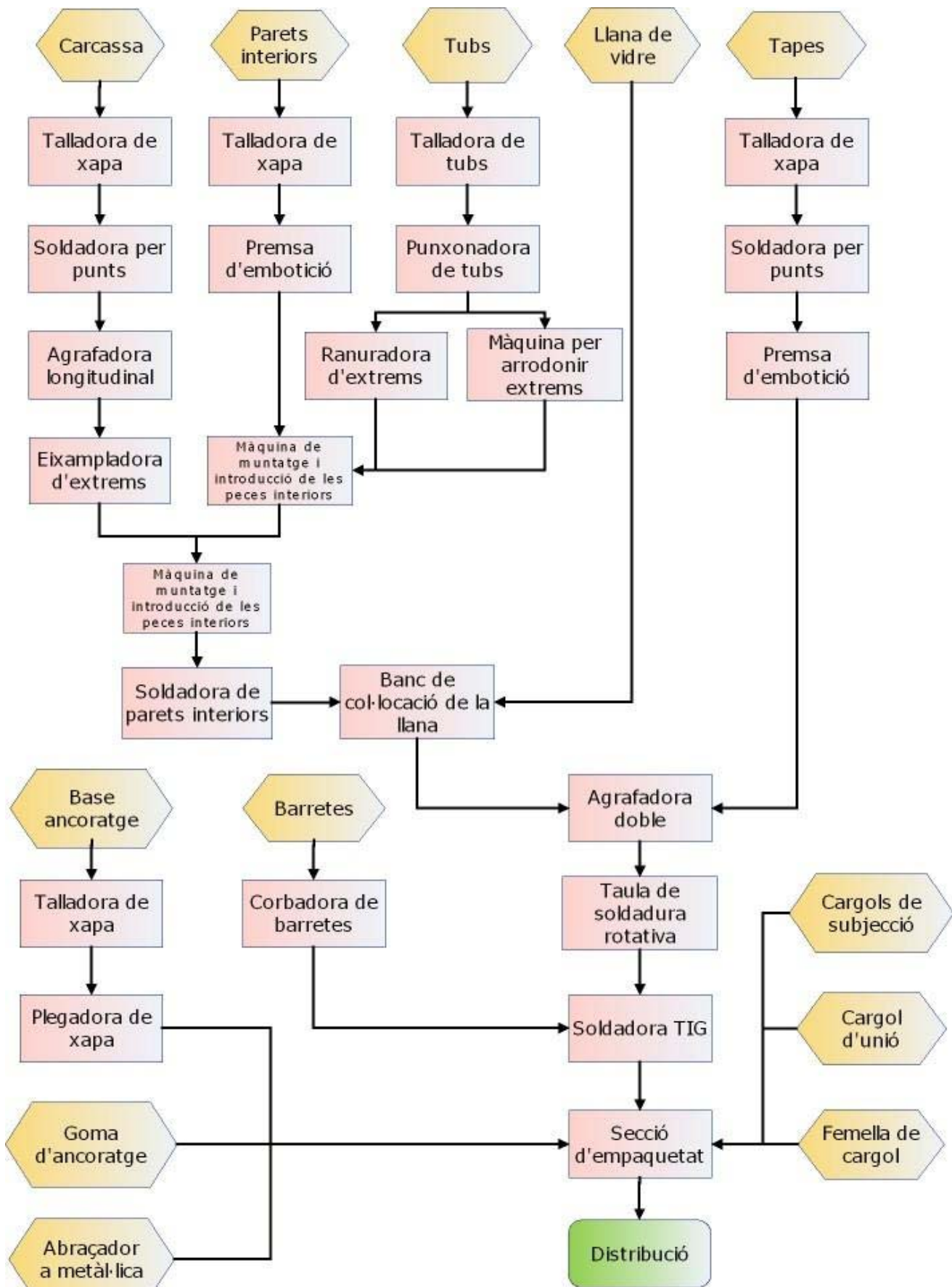


Fig 8.2 Flux productiu amb les màquines utilitzades



Amb aquest diagrama podem començar a estudiar la posició ideal de la maquinària dins del taller de fabricació.

## 8.2 Situació recomanada de la maquinària

Al diagrama anterior podem observar la relació de maquinària que necessita cada procés de forma seqüencial.

Per a col·locar la maquinària dins de la fàbrica haurem de respectar els següents punts bàsics:

- Les màquines necessàries per a la fabricació de cada peça per separat han de situar-se el més a prop possible.
- La màquina que s'utilitzi per a la unió de dues peces entre si haurà d'estar el més a prop possible de les màquines que produeixin la última operació de cadascuna de les peces.

Obeint aquests dos punts obtindrem les següents relacions de la maquinària que necessita estar a prop:

- Fabricació de la carcassa: talladora de xapa, soldadora per punts, agrafadora longitudinal i eixampladora d'extrems.
- Fabricació de les parets interiors: talladora de xapa i premsa d'embotició.
- Fabricació dels tubs: talladora de tubs, punxonadora de tubs, ranuradora i màquina per arrodonir extrems.
- Fabricació de les tapes: Talladora de xapa, soldadora per punts i premsa d'embotició.
- Fabricació de la base d'ancoratge: talladora de xapa i plegadora de xapa.
- Unió de les parets interiors amb els tubs: premsa d'embotició, ranuradora d'extrems, màquina d'arrodonir extrems i màquina de muntatge i introducció de peces interiors.
- Introducció de les peces interiors a la carcassa: eixampladora d'extrems, màquina de muntatge i introducció de les peces interiors i soldadora de parets.
- Introducció de la llana de vidre: soldadora de parets i banc de col·locació de la llana.
- Unió de la carcassa amb les tapes: banc de col·locació de la llana, premsa d'embotició i taula de soldadura rotativa.

- Unió de les barretes amb el silenciós: corbadora de barretes, taula de soldadura rotativa i soldadora TIG.
- Empaquetat del producte: soldadora TIG i plegadora de xapa.

Una vegada tenim totes aquestes relacions haurem d'intentar fer un disseny per a la situació de la maquinària que les respecti al màxim, ja que seria impossible respectar-les totes a la vegada.

L'ordre que utilitzarem per a la col·locació de les màquines serà respectar en primer lloc les relacions de proximitat que afecten a la fabricació de cada peça i en segon terme, si és possible intentar que compleixin les relacions de proximitat d'unions entre peces. Fent cas a això les normes definitives que hem de seguir seran les següents:

### **Relacions principals**

- Talladora de xapa a prop de la soldadora per punts, la premsa d'embotició i la plegadora de xapa.
- Soldadora per punts a prop de l'agrafadora longitudinal i la premsa d'embotició.
- L'agrafadora longitudinal al costat de l'eixampladora d'extrems.
- Talladora de tubs al costat de la punxonadora de tubs.
- Punxonadora de tubs a prop de la ranuradora d'extrems i la màquina per arrodonir extrems.
- Màquina de muntatge i introducció de les peces interiors amb la soldadora de parets.
- Agrafadora doble a prop de la taula de soldadura rotativa.

### **Relacions secundàries**

- Premsa d'embotició al costat de la màquina de muntatge i introducció de les peces interiors i de l'agrafadora doble.
- Ranuradora d'extrems de tubs i màquina per arrodonir extrems a prop de la màquina de muntatge i introducció de les peces interiors.
- Soldadora de les parets interiors amb el banc de col·locació de la llana de vidre.
- Banc de col·locació de la llana de vidre a prop de l'agrafadora doble.
- Corbadora de barretes al costat de la soldadora TIG.
- Taula de soldadura rotativa amb la soldadora TIG.
- Soldadora TIG a prop de la secció d'empaquetat.
- Plegadora de xapa al costat de la secció d'empaquetat.

Les relacions anteriors representen les normes que hem de seguir per a situar les màquines una a una. Fent cas en la mesura del possible a aquestes relacions s'ha dissenyat la situació

recomanada de la maquinària que es pot observar al plànol número 19. En el plànol següent a l'esmentat es pot veure la circulació dels fluxos de producció dins de la fàbrica.

Com es pot observar amb els fluxos de producció, s'ha intentat que totes les operacions consecutives ocasionin un moviment d'esquerra a dreta, evitant sempre que s'ha pogut, que s'hagin de realitzar desplaçaments molt llargs dins de la fàbrica per anar d'una fase de producció a una altra.

### 8.3 Característiques recomanades de la fàbrica

La nau industrial que s'utilitzi per a produir el silenciós haurà de disposar d'una superfície mínima per tal de poder acollir tot el conjunt de màquines que hem d'utilitzar per a dur a terme les diferents tasques que conformen el producte.

La fàbrica haurà de disposar de l'espai suficient per a poder col·locar tota la maquinària disposant d'un espai lliure suficient per a realitzar les tasques còmodament. A més s'haurà de preveure espais per a poder apilar les matèries primeres que necessitem per a realitzar les peces, així com un espai per a situar els productes acabats a l'espera de la seva distribució. A més a més, haurà d'haver espai suficient per a col·locar altres zones com serveis, vestidors, oficines...

Les mesures de la nau que proposem per a realitzar les activitats sense cap mena de problema són les següents (totes les mesures són en metres):

- Mesures totals:  $50 \times 25 = 1250 \text{ m}^2$ .
- Zona de treball:  $36 \times 25 = 900 \text{ m}^2$ .
- Zona d'apilament de matèries primeres:  $7 \times 25 = 175 \text{ m}^2$ .
- Zona d'apilament de productes acabats:  $7 \times 13 = 91 \text{ m}^2$ .
- Oficines, serveis, vestidors, etc.:  $7 \times 12 = 84 \text{ m}^2$ .

Aquestes són les mesures mínimes recomanades, no s'aconsella en cap cas utilitzar un espai inferior a aquest ja que podria provocar una davallada en el rendiment productiu. Si s'utilitzés una nau de superfície superior, es recomana que la col·locació de la maquinària sigui la mateixa que la estudiada en aquest projecte, ja que si al voler aprofitar el major espai es separen totes les màquines es produirà un augment dels desplaçaments necessaris dins del procés productiu, augmentant d'aquesta manera els temps morts de fabricació.

### 8.4 Personal recomanat pel desenvolupament de l'activitat

Estudiant totes les tasques a realitzar dins de la fàbrica proposada, arribem a calcular un nombre adequat de treballadors per al bon funcionament de la producció. Es proposa un nombre total de 13 treballadors per a que la producció sigui òptima, tanmateix cal dir que

es possible que no resulti ser exactament el nombre ideal de treballadors, ja que el millor serà estudiar el funcionament de la fàbrica una vegada estigui en marxa per a determinar si aquests treballadors calculats són o no el nombre ideal per al procés que es realitza.

De totes maneres aquests treballadors segur que seran el nombre mínim per a poder cobrir totes les necessitats, mantenint una producció coherent, encara que es possible que a la pràctica ens donem conte que amb l'incorporació d'algun altre operari es pot incrementar el rendiment productiu.

Les tasques a realitzar per cadascun dels treballadors dins de la fàbrica són les següents:

- Operari 1: s'encarregarà de la recepció de matèries primeres i la seva col·locació al lloc adequat.
- Operari 2: controlarà la talladora de xapa. Ficarà les xapes d'acer inoxidable a la màquina, la connectarà i distribuirà les peces obtingudes a la següent etapa (depen de la peça haurà de portar-la a la premsa d'embotició 1, a la soldadora per punts o a la plegadora de xapa).
- Operari 3: s'ocuparà de la formació de la carcassa. Realitzarà la soldadura per punts a les dues xapes que la componen, introduirà aquesta peça a l'agrafadora longitudinal i realitzarà l'eixamplament dels extrems, després les portarà a la màquina d'introducció de les peces interiors.
- Operari 4: formarà les parets interiors a la premsa d'embotició 1, i realitzarà la unió de les peces interiors i les col·locarà dins de la carcassa.
- Operari 5: controlarà la talladora de tubs. Ficarà els tubs d'acer inoxidable a la màquina, la connectarà i portarà les peces obtingudes a la punxonadora de tubs.
- Operari 6: farà el punxonat dels tubs, realitzarà les ranures i els arrodoniments dels extrems i els portarà a la màquina d'introducció de les peces interiors.
- Operari 7: s'encarregarà de la formació de les tapes. Realitzarà la soldadura per punts de les dues xapes que les componen, les formarà a la premsa d'embotició 2 i les portarà a l'agrafadora doble.
- Operari 8: farà la soldadura de les parets interiors del silenciós (haurà d'anar a buscar-los a la màquina d'introducció), i col·locarà la llana de vidre al seu interior.
- Operari 9: agafarà els cossos del silenciós del banc de col·locació de llana de vidre i els unirà amb les tapes a l'agrafadora doble i els portarà a la taula rotativa de soldadura.
- Operari 10: Col·locarà les bobines de barreta d'acer inoxidable a la màquina corbadora i de tall, la connectarà i portarà les peces obtingudes a la soldadora TIG.
- Operari 11: realitzarà la soldadura exterior dels tubs a la taula rotativa, portarà els silenciosos a la soldadora TIG i els hi soldarà les barretes, i els portarà al banc d'empaquetat.
- Operari 12: formarà les bases d'ancoratge amb la plegadora de xapa i les portarà a la secció d'empaquetat.
- Operari 13: anirà a buscar les abraçadores, les peces de cautxú, els cargols i les femelles, empaquetarà els productes i els portarà a la zona d'apilament de productes acabats.

Totes aquestes funcions de cada operari s'observen al plànol número 21.

## 8.5 Estimació del rendiment de la producció

A continuació es realitzarà un estudi sobre el rendiment que tindrà la nostra fàbrica, calcularem el nombre d'unitats al dia que serà capaç de fabricar.

Aquest càlcul consistirà en un anàlisi aproximatiu, ja que és impossible tenir en compte tots els factors que influiran en la producció, però de totes formes ens servirà per a tenir una idea sobre el rang de rendiment que aconseguirem amb el procés estudiat.

Aquest estudi es podrà utilitzar pels fabricants que desitgin dur a terme la fabricació del producte, per a poder obtenir dades de rendibilitat de l'empresa.

L'anàlisi descrit es durà a terme amb tres etapes diferents: primer esbrinarem el temps que tarda en realitzar-se cada una de les operacions que intervenen en la producció del silenciós, en segon lloc calcularem el temps que utilitza cada operari en realitzar les seves funcions per a obtenir les peces per a fabricar un silenciós, i per últim farem un estudi de les tasques que es realitzen de manera simultània per saber quan es triga en fer cada silenciós. Una vegada tinguem el temps de producció de cada unitat podrem calcular el nombre d'unitats que serem capaços de fabricar en una jornada de treball.

### 8.5.1 Temps de realització de les operacions

#### Tallat

Per a aconseguir una producció més elevada, enlloc de tallar de cada xapa de metall només un geometria d'una peça en concret, el que es farà serà tallar de cada planxa les diferents geometries corresponents a cada peça a la vegada per a que es puguin proveir a les següents etapes de producció de manera contínua.

D'aquesta manera en la màquina de tall de xapa només s'hauran d'alternar dos operacions diferents: el tall de les peces que conformen el silenciós en xapa d'1 mm de gruix, i el tall de la geometria de la base d'ancoratge en xapa de 2 mm de gruix.

El temps que aproximadament tardarà la màquina en realitzar els talls de cada planxa d'acer inoxidable incloent el temps de col·locació a la plataforma de tall de la màquina, serà de **2,5 minuts**.

#### Soldadura per punts

Aquesta operació es realitzarà per a soldar les dues xapes que componen tant la carcassa com les tapes exteriors. En cada cas es realitzaran quatre punts de soldadura, així que el temps del procés serà aproximadament el mateix per cada peça.

El temps de realització dels quatre punts de soldadura serà de **10 segons** per cada peça.

## Agrafat longitudinal

Aquesta operació es realitza amb una màquina automatitzada. Segons les dades del fabricant és capaç de produir més de 500 unitats per hora.

Temps de producció de cada unitat:

$$500 \text{ peces/hora} \Rightarrow \frac{1 \text{ hora}}{500} = 0,002 \text{ hores} \cdot \frac{3600 \text{ segons}}{1 \text{ hora}} = 7,2 \text{ segons}$$

## Eixamplament dels extrems de la carcassa

Segons el fabricant de la màquina a utilitzar per aquest procés, el temps màxim del cicle és de 9 segons.

## Embotició

Amb aquesta operació es realitzaran les parets interiors i les tapes. El temps d'operació estimat serà el mateix per les dues premses ja que el procés, encara que no igual, es molt similar.

Temps d'embotició de les peces: 10 segons.

## Tallat de tubs

Aquesta operació es realitza també amb una màquina automatitzada. Els temps que estimem pel tallat de cada tub, incloent la col·locació a la plataforma de tall i l'extracció de les peces acabades, és de 25 segons.

## Punxonat dels tubs

La màquina que utilitzarem és semi-automatitzada, anirà produint els forats per files i girant el tubs per foradar la següent fila. El temps aproximat que tardarà en fer aquestes operacions es de 35 segons.

## Producció de ranures

Temps d'operació: 5 segons.

## Producció de l'arrodoniment

Temps d'operació: 5 segons.

## Unió de les parets amb els tubs

S'utilitzarà una màquina especial per aquest fi i s'haurà d'unir el tub d'entrada amb la paret amb forat centrat i el tub de sortida amb una paret amb forat descentrat.

El temps que es trigarà en realitzar aquestes dues operacions serà de 35 segons.

## Col·locació de les peces interiors

En aquesta operació haurem de diferenciar dues parts ja que al haver tres parets interiors la del mig s'ha de col·locar primer i fer la soldadura, i després col·locar les altres dos.

Temps de col·locació de la paret central: **20 segons**.

Temps de col·locació d'una paret exterior: **30 segons**.

## Soldadura de les parets

Temps de soldadura de la paret central: **5 segons**.

Temps de soldadura de les parets exteriors: **8 segons**.

## Introducció de la llana de vidre

És un procés totalment manual que constarà del tallat i introducció a banda i banda del silenciós. El temps total consumirà uns **40 segons**.

## Agrafat doble

Segons les dades del fabricant la màquina produeix un temps màxim del cicle de formació de 14 segons, més el temps de col·locació de les peces a la màquina, considerarem en total **19 segons**.

## Soldadura dels tubs exteriors

L'operació consisteix en col·locar el silenciós en la base de la màquina i activar-la per a que produeixi el cordó de soldadura mitjançant el gir de la peça. Aquesta operació tarda, segons el fabricant, un màxim de **15 segons** en realitzar-se.

## Tallat i doblegat de les barretes

Aquestes dues operacions es realitzen a la mateixa màquina. Per produir cada peça consumeix **10 segons** aproximadament.

## Soldadura de les barretes

És una altra operació manual que consisteix en soldar les barretes al cos del silenciós. L'operari pot tardar uns **30 segons** en realitzar-la.

## Plegat de la base d'ancoratge

L'operari haurà de produir els plects necessaris a la peça, que vindrà de la talladora de xapa, per a formar la base d'ancoratge. És un procés que pot trigar uns **25 segons**.

## Empaquetat del conjunt

S'haurà de ficar el silenciós en una capsa de cartró plena de material de farciment i ficar les altres peces que formen el conjunt en una capsa més petita que s'introduirà a l'interior de la primera capsa. Totes aquestes operacions haurien de consumir uns **45 segons**.



## 8.5.2 Temps d'operació de cada treballador

A partir dels temps calculats en l'apartat anterior sabrem el temps que triga cada operari en realitzar les seves funcions per a produir les operacions que contribueixen a fabricar un silenciós.

El mètode de càlcul consistirà en fer la suma del temps de totes les operacions que realitza cada operari i afegir-li el temps que necessiti per a realitzar tots els desplaçaments necessaris per a dur a terme la seva tasca. Per a calcular el temps perdut en desplaçament aplicarem una velocitat aproximada d'1 m/s.

### Operari 1

La feina d'aquest operari és constant de recepció i col·locació de matèries primeres al magatzem, no és una feina que repercuteixi directament a la fabricació del silenciós, per tant no el tindrem en compte en aquest anàlisi.

### Operari 2

Aquest operari controla la talladora de xapa que és una màquina automatitzada, en aquest cas considerarem que aquest operari realitza els desplaçaments alternatius a aquesta activitat durant el temps d'operació de la màquina, per tant el temps d'operació es reduirà al temps consumit per la màquina.

$$\text{Temps operari 2} = 2,5 \text{ minuts (xapa 1 mm)} + 2,5 \text{ minuts (xapa 2 mm)} = 5 \text{ minuts}$$

### Operari 3

Farà la soldadura per punts, l'agrafat longitudinal i l'eixamplament dels extrems de la carcassa. El desplaçament necessari serà de 24,1 m.

$$\text{Temps operari 3} = 10 + 7,2 + 9 + 24,1 = 50,3 \text{ segons}$$

### Operari 4

Forma les parets interiors (3 peces), uneix les peces interiors i les col·loca a dins de la carcassa. Desplaçament: 6,6 m.

$$\text{Temps operari 4} = (10 \cdot 3) + 35 + 20 + (30 \cdot 2) + 6,6 = 151,6 \text{ segons}$$

### Operari 5

Igual que l'operari 2, el 5 controla una màquina automàtica i per les mateixes raons només considerarem el temps d'operació de la talladora de tubs.

$$\text{Temps operari 5} = 25 \text{ segons}$$

## Operari 6

Utilitza la punxonadora de tubs (2 tubs iguals per cada silenciós) i les màquines ranuradora i arrodonidora d'extrems. Els desplaçaments que necessita sumen un total de 27,2 m.

$$\text{Temps operari 6} = (35 \cdot 2) + 5 + 5 + 27,2 = 107,2 \text{ segons}$$

## Operari 7

Realitza la soldadura per punts de les dues xapes de les tapes (2 peces diferents), i les forma a la premsa d'embotició 2. El desplaçament per aquest treballador és de 48,6 m.

$$\text{Temps operari 7} = (10 \cdot 2) + (10 \cdot 2) + 48,6 = 88,6 \text{ segons}$$

## Operari 8

La seva funció és realitzar la soldadura de les parets interiors i ficar la llana de vidre al silenciós. El desplaçament que necessita per això és de 19,7 m.

$$\text{Temps operari 8} = 5 + (8 \cdot 2) + 40 + 19,7 = 80,7 \text{ segons}$$

## Operari 9

Uneix la carcassa amb les tapes a l'agrafadora doble. Desplaçament: 18,2 m.

$$\text{Temps operari 9} = 19 + 18,2 = 37,2 \text{ segons}$$

## Operari 10

Fa el corbat de les barretes d'ancoratge (2 peces per cada silenciós), i necessita un desplaçament de 66,4 m.

$$\text{Temps operari 10} = (10 \cdot 2) + 66,4 = 86,4 \text{ segons}$$

## Operari 11

Soldadura dels tubs amb les tapes i soldadura de les barretes. Necessita un desplaçament de 21,8 m.

$$\text{Temps operari 11} = 15 + 30 + 21,8 = 66,8 \text{ segons}$$

## Operari 12

Utilitza la plegadora de xapa per formar les bases d'ancoratge, i practica un desplaçament de 14,6 m.

$$\text{Temps operari 12} = 25 + 14,6 = 39,6 \text{ segons}$$

## Operari 13

S'encarrega de l'empaquetat del producte, per això necessita desplaçar-se 78,4 m.

$$\text{Temps operari 13} = 45 + 78,4 = 123,4 \text{ segons}$$

### 8.5.3 Temps de fabricació de cada unitat

Ara sabem el temps que triga cada operari en realitzar les seves funcions per a fabricar una unitat, però per calcular el temps total de fabricació d'un silenciós no podem sumar directament aquests temps obtinguts.

Cada operari no realitza la seva feina seqüencialment, pas a pas un operari després de l'altre, si fos així només caldria un operari que anés passant per totes les fases de producció. El que ocorre a la fàbrica es que tots els operaris van realitzant la seva feina a la vegada, sense pensar quin nombre de silenciós formaran les peces que estan fabricant, es van produint peces que van passant d'una fase a una altra i van donant forma a diversos productes a l'hora.

El que volem saber en aquest apartat és la mitja de temps que tarda en fabricar-se un silenciós quan la fàbrica està en ple funcionament.

Per a fer això analitzarem totes les tasques que es van produint simultàniament i analitzarem el temps total en que es fabrica cada unitat. Les diferents tasques relacionades amb el temps que necessiten apareixen en el quadre següent:

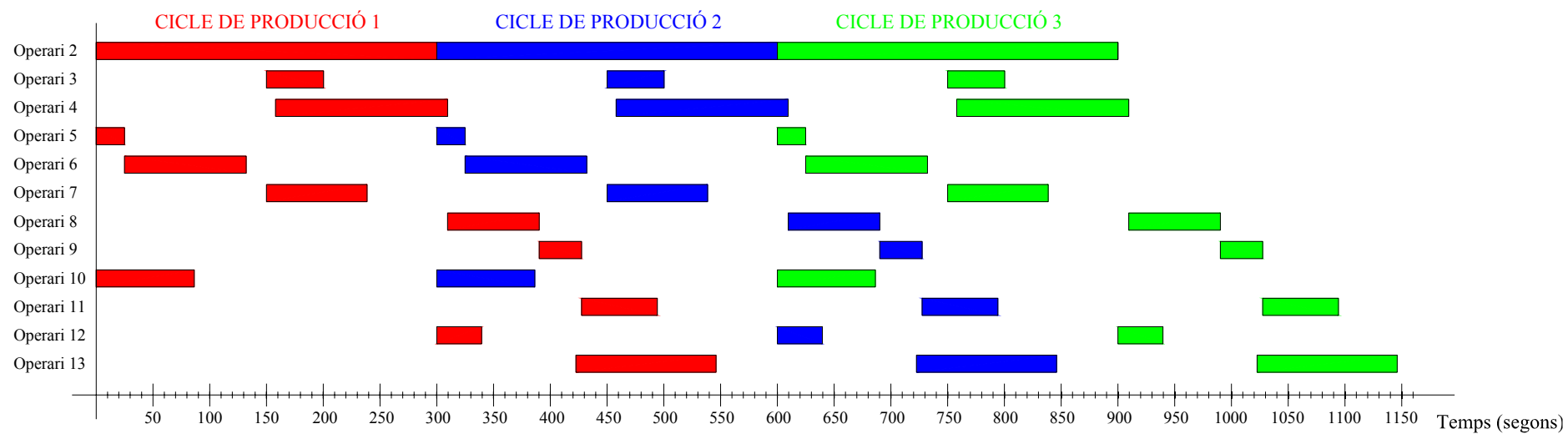


Fig 8.3 Temps de fabricació del silenciós

Aquest gràfic representa el temps de les operacions que realitzen els operaris durant tres cicles de producció, o sigui, durant la fabricació de tres unitats.

Podem observar que quan la producció es fica en marxa la primera unitat tarda 546 segons en produir-se, però en els cicles posteriors es poden simultanejar més tasques i s'aconsegueix un temps de producció per unitat de 300 segons, o sigui 5 minuts.

Si considerem una jornada laboral de 8 hores diàries obtindrem el següent rendiment:

$$8 \text{ h} \cdot \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ h}} = 480 \text{ min}$$

$$\frac{480 \text{ min}/\text{dia}}{5 \text{ min}/\text{unitat}} = 96 \text{ unitats}/\text{dia}$$

Aquest és el càlcul de rendiment ideal de la fàbrica, però com que durant el procés de producció segur que sorgiran alguns imprevistos, o alguns dels temps calculats no es podran complir, aplicarem un coeficient de minoració del 10 % per a ajustar-nos més al rendiment real:

$$\text{Rendiment real} = 96 \cdot (1 - 0,1) = 86,4 \text{ unitats}/\text{dia}$$

Obviament aproximarem aquest valor a un nombre total de 86 unitats fabricades per dia.



# **ANNEXES**





# ÍNDIX DELS ANNEXES

## **ANNEX 1: MAQUINÀRIA.....323**

### **1 Maquinària convencional a utilitzar..... 323**

1.1 Talladora de xapa.....	323
1.2 Premsa d'embotició.....	325
1.3 Soldadura per punts.....	327
1.4 Soldadura manual TIG.....	329
1.5 Plegadora de xapa.....	330
1.6 Corbadora de barretes.....	332
1.7 Talladora de tubs.....	334
1.8 Punxonadora de tubs.....	338
1.9 Ranuradora d'extrems de tubs.....	339
1.10 Màquina per arrodonir extrems de tubs.....	340

### **2 Maquinària específica per la producció de silenciosos.....342**

2.1 Agrafadora longitudinal automatitzada.....	342
2.2 Eixampladora dels extrems de la carcassa.....	344
2.3 Màquina de muntatge i introducció de les peces interiors.....	346
2.4 Soldadora de les parets interiors.....	349
2.5 Agrafadora doble vertical.....	350
2.6 Taula de soldadura rotativa.....	353

## **ANNEX 2: CATÀLEGS.....355**

<b>1 Acer inoxidable.....</b>	<b>355</b>
<b>2 Llana de vidre.....</b>	<b>357</b>
<b>3 Abraçadora.....</b>	<b>359</b>
<b>4 Barretes.....</b>	<b>360</b>
<b>5 Cargols.....</b>	<b>361</b>
<b>6 Femelles de cargol.....</b>	<b>365</b>
<b>7 Sistemes d'empaquetat.....</b>	<b>366</b>



# ANNEX 1: MAQUINÀRIA

A continuació realitzarem un breu anàlisi de totes les màquines i equipaments que seran necessaris per a desenvolupar el procés productiu del producte.

En aquest anàlisi dividirem el conjunt de maquinària en dos grups diferents:

- Maquinària convencional. En aquest grup inclourem totes les màquines que s'utilitzen en aplicacions generals, que serveixen per a qualsevol procés de producció. Per exemple la talladora de xapa, la plegadora, la premsa d'embotició...
- Maquinària específica. En aquest apartat parlarem de les màquines i equipaments que estan dissenyats única i exclusivament per a la fabricació de silenciós. Son màquines que disposen de totes les prestacions per a realitzar diverses operacions típiques en els silenciós.

Totes les eines i dispositius que necessitin les màquines per a la fabricació de les nostres peces, seran produïts pels mateixos fabricants de les màquines.

## 1 Maquinària convencional a utilitzar

### 1.1 Talladora de xapa

Per a realitzar aquesta funció hem escollit una talladora làser de CO<sub>2</sub> de control numèric.

La xapa de metall (acer inoxidable AISI-304) l'adquirirem mitjançant un distribuïdor que ens entregará planxes d'aquest material d'una grandària determinada. Per a fabricar les nostres peces necessitarem tallar aquesta planxa en parts d'una grandària i forma determinades perquè a partir d'aquí puguem realitzar les operacions necessàries per arribar a la peça final.

Aquest tall s'aconseguirà gràcies a la talladora de xapa. S'ha elegit una màquina de tall amb control numèric perquè hi ha algunes peces, com les tapes o les parets interiors) que tenen una geometria complicada. A demés aquest tipus de màquines permeten un canvi ràpid entre les geometries de tall, ja que només s'ha de canviar el programa de control numèric per a començar a tallar una geometria diferent.

La màquina que utilitzarem té les següent característiques:

#### Fabricant



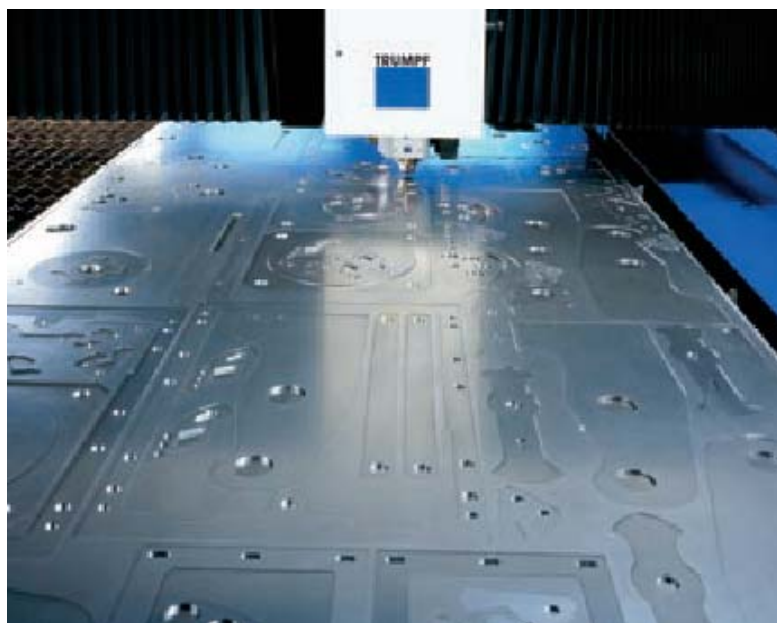
*Fig 1.1 Logotip del fabricant trumpf*

## Model

### TRUMATIC L 3030



*Fig 1.2 Trumatic L 3030*



*Fig 1.3 Exemple de tall de la màquina*

## Especificacions

Àrea de treball	Eix X	3000 mm
	Eix Y	1500 mm
	Eix Z	115 mm
Pes màxim de la peça de treball	710 kg	
Velocitat màxima de posicionament	Eix paral·lel	60 m/min
	Simultani	85 m/min
Precisió	Increment mínim programable	0,01 mm
	Precisió del posicionament	±0,10 mm
	Repetibilitat	±0,03 mm
Control	TRUMPF CNC path control	Basat en Sinumerik 840D
Dimensions i pesos	Llarg	9300 mm
	Ample	4600 mm
	Alt	2000 mm
	Pes	1150 kg
<b>LÀSER</b>		
Sortida màxima garantida	Programable en increments de 1 %	2000 W
Longitud d'ona	10,6 µm	
Mode del raig	TEM <sub>00</sub>	
Freqüència	100 Hz – 10 Hz	
Consum	CO <sub>2</sub> (gas del làser)	1 l/h
	N <sub>2</sub> (gas del làser)	6 l/h
	He (gas del làser)	13 l/h
Gas de tall	500 – 2000 l/h	
Sistema de refrigeració del làser	Sistema tancat	
Consum elèctric (valor de tota la unitat)	20 – 40 kW	

Taula 1.1 Especificacions de la Trumatic L 3030

## 1.2 Premsa d'embotició

Aquesta màquina serà utilitzada per a la fabricació de cinc peces diferents: les tres parets interiors i les dues tapes exteriors.

L'operació consistirà en la introducció a la màquina del retall de xapa aconseguit amb la talladora, i mitjançant un punxó i una matriu amb la forma adequada s'aconseguirà la peça final.

En la fàbrica on es dugui a terme el procés productiu, instal·larem dues d'aquestes màquines, ja que disposem de dos tipus de peces a realitzar. D'aquesta manera en una premsa tindrem un punxó i una matriu per a produir la forma de les parets interiors (que es la mateixa forma per a totes), i en la segona disposarem d'una configuració per a la realització de les tapes (també tenen la mateixa forma). D'aquesta manera no tindrem que perdre temps en la substitució dels utilitatges per a realitzar els dos tipus de peses en una mateixa premsa.

La premsa d'embotició que farem servir disposa de les següents característiques:

### **Fabricant**



*Fig 1.4 Logotip de T.J.F. GARNET*

### **Model**

RVC 150 E



*Fig 1.5 Premsa RVC 150 E*



## Especificacions

- Taula superior ranurada de 1.300 x 1.100 mm.
- Estructura de quatre columnes cilíndriques cromades de diàmetre de 150 mm.
- Taula inferior ranurada amb finestra central.
- Porta de seguretat frontal de accionament pneumàtic amb banda tàctil de seguretat.
- Altura màxima entre plats de 900 mm.
- Coixí inferior de 40 t, carrera de 200 mm,
- 20 veles extraïbles de diàmetre de 40 mm repartides un àrea de 500 mm.
- Grup hidràulic de 40 CV, 1 velocitat, descens per gravetat, amb vàlvula de preplenat al cilindre.
- Compleix amb la normativa CE.

## Característiques tècniques

- Potència: 150 t
- Velocitats motoritzades: 2
- Potència del motor: 29,5 kW
- Velocitat ràpida: entre 100 y 150 mm/s
- Velocitat de treball: 19,7 mm/s
- Velocitat de retorn: 88 mm/s
- Recorregut del pistó: 500 mm
- Altura de treball: 900 mm
- Taula superior e inferior: 900x800 mm
- Pes: 9.850 kg

## 1.3 Soldadora per punts

A la fàbrica de producció del producte haurem de disposar d'una màquina que ens pugui facilitar una soldadura ràpida, per a unir les dues xapes solapades que formen tant la carcassa com les dues tapes exteriors, per a que no puguin tenir cap moviment relatiu entre elles durant les operacions posteriors.

L'equip que utilitzarem serà una soldadora per punts de peu, que amb una senzilla operació que consisteix col·locació de les dues xapes en la posició adequada i la posterior activació de la màquina, ens permet obtenir el resultat que busquem.

La soldadora que utilitzarem per aquest fi serà la següent:

**Fabricant**

**VALMAIRA**

**Model**

SPV-8



*Fig 1.6 Soldador per punts Valmaira SPV-8*

**Especificacions**

Potència	8 kW
Tensió	2 x 220/380 V
Solda xapa	3 + 3 mm
Solda arrodonits	5 + 5 mm
Gola útil	350 mm
Dimensions	920 x 380 x 1215 mm
Pes	115 kg

*Taula 1.2 Especificacions de la Valmaira SPV-8*

## 1.4 Soldadora manual TIG

És tracta d'una màquina convencional de soldadura. La única funció, en principi, que realitzarà al nostre procés serà realitzar la soldadura de les barretes d'ancoratge amb el cos del silenciós quan aquest ja estigui format

Les barretes, com ja s'ha especificat a la secció de muntatge, aniran soldades a les tapes tocant al sortint que forma l'agrafat doble. El procediment serà simple: col·locar la barreta a la seva posició final i realitzar un cordó de soldadura amb aquesta màquina.

Les característiques s'especifiquen a continuació:

### Fabricant



*Fig 1.7 Logotip del fabricant Miller*

### Model

Dynasty 700



*Fig 1.8 Miller Dynasty 700*

## Especificacions

Potència	5 kW
Tensió	208-575 V, 1 i 3 Fases
Sortida	500 A a 40 V (3 fases) 450 A a 38 V (1 fase)
Dimensions	780 x 630 x 1105 mm
Pes	90 kg

*Taula 1.3 Especificacions de Dynasty 700*

## 1.5 Plegadora de xapa

La plegadora s'utilitzarà per a fabricar la base metàl·lica que anirà cargolada al xassís del vehicle on s'instal·li el silenciós.

Amb l'ajut d'aquesta màquina es realitzaran els plecs que conformen la peça. L'operació partirà d'un retall de xapa de 2mm de gruix obtingut amb la talladora làser, a la que s'aniran produint una seqüència de plecs successius que donaran a la peça la seva forma final. Per a més informació sobre aquesta peça consultar apartat de muntatge o plànols.

Les peces que produïrem amb aquesta màquina (bases d'ancoratge) seran peces totalment acabades, no s'hauran d'unir ni col·locar a cap altre posició del producte. Són peces independents que s'afegiran a les comandes del producte per a poder realitzar el muntatge d'aquest a qualsevol vehicle.

La màquina escollida té les característiques següents:

### Fabricant



*Fig 1.9 Logotip de Gasparini*

### Model

PSG-200



Fig 1.10 Gasparini PSG-200

## Especificacions

Llargada nominal	4000 mm
Força de plegat	2000 kN
Llargada de plegat	4100 mm
Distància entre muntants	3600 mm
Coll de cigne	450 mm
Carrera	250 mm
Velocitat d'apropament	80 mm/seg
Velocitat de treball regulable	0/10 mm/seg
Velocitat de retorn	80 mm/seg
Potència del motor (50 Hz – 380 V)	18,5 kW
Quantitat d'oli en el tanc	280 l
Llarg	4750 mm
Alçada	2300 mm
Profunditat	1960 mm
Pes aproximat	16200 kg

Taula 1.4 Especificacions de Gasparini PSG-200

Entre els utillatges d'aquesta màquina haurem de disposar d'un que ens permeti realitzar l'últim plegament necessari per a formar la peça d'ancoratge, que dona lloc al tancament de les parets d'aquest. Aquest utillatge disposa d'un sortint en un dels seus extrems que fa que es quedi a dins de la geometria de la peça al realitzar el plegament, i quan la màquina pugi deixar extreure la peça cap al costat. Aquest utillatge té la referència *em-002/g 100* i s'il·lustra a la figura següent (utillatge de la dreta):



Fig 1.11 Utillatge necessari per a la plegadora de xapa

## 1.6 Corbadora de barretes

Aquest equip serà utilitzat per a donar forma a les barretes d'acer inoxidable que subjectaran el cos del silenciós amb l'ancoratge.

És una màquina capaç de doblegar barretes massisses i tubs a qualsevol forma. Serà una operació repetitiva, s'haurà de plegar sempre la mateixa forma ja que tant la barreta de l'extrem davanter com la del posterior són exactament iguals. Aquesta màquina disposa d'un dispositiu integrat de tallat de les barretes.

La màquina que s'utilitzarà per aquest fi disposa d'aquestes característiques:

### Fabricant



Fig 1.12 Logotip de Ineco

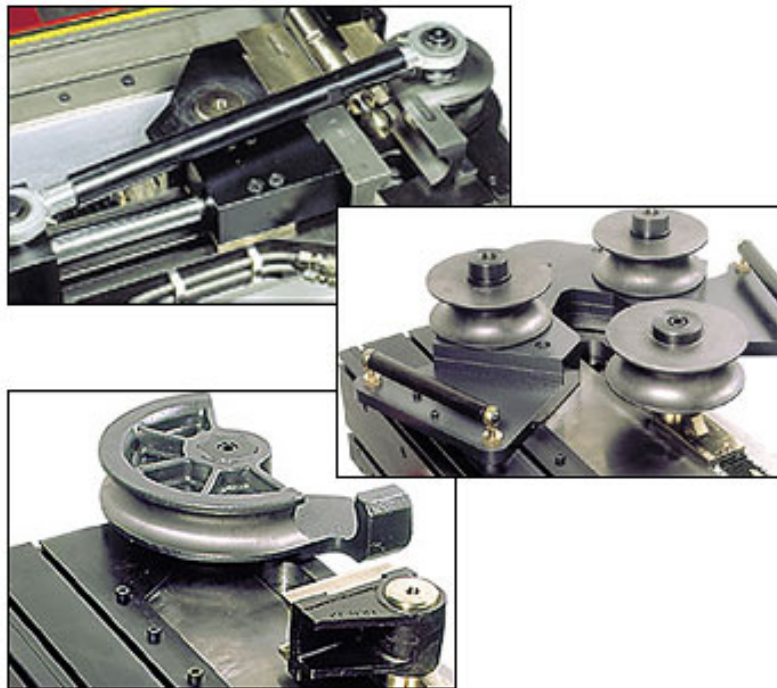
### Model

QBMS/3X





*Fig 1.13 Corbadora de barretes Ineco QBMS/3X*



*Fig 1.14 Detall d'algunes parts de la corbadora de barretes*



## Especificacions

Capacitat màxima de corbat	Tub rodó	60 x 3 mm
	Tub quadrat	40 x 40 x 3 mm
	Barreta	30 mm
Radi màxim de corbat	400 mm	
Radi mínim de corbat	10 mm	
Nombre de corbes seqüencials programables	200 x 10	
Angle màxim de corbat	180 °	
Angle de correcció programable	30 °	
Consum elèctric	Motor principal	4 kW
	Motor contramatriu	1,5 kW
	Motor grup hidràulic	4 kW
Llargada	4300 mm	
Amplada	1200 mm	
Alçada	1200 mm	
Pes	1275 kg	

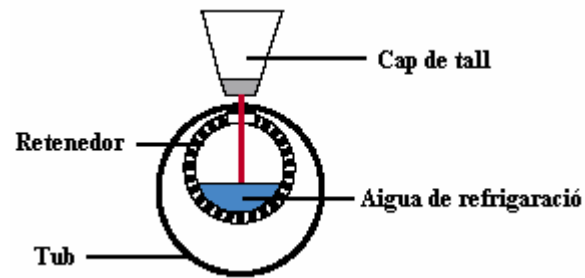
Taula 1.5 Especificacions de la Ineco QBMS/3X

## 1.7 Talladora de tubs

Per aquest fi utilitzarem una màquina de tall per làser de CO<sub>2</sub> automatitzada. Amb aquesta màquina realitzarem el tall dels tubs interiors del silenciós, que com hem vist es tracten d'un parell de tubs de la mateixa mesura.

Els tubs que necessitem s'adquiriran a algun distribuïdor d'aquests tipus de productes, portaran una llargada determinada i haurem d'anar-los tallant a la mesura adequada per a poder començar a fabricar les peces.

La màquina que hem escollit per aquest procés es tracta d'una màquina totalment automatitzada, que va agafant els tubs sencers que es col·loquen en una plataforma i el va tallant tots a la mesura que especifiquem i el deixa a un recipient de descarrega. A la figura posterior es pot veure el sistema de tall de la màquina.



*Fig 1.15 Procediment de tall de la talladora de tubs*

Característiques:

**Fabricant**



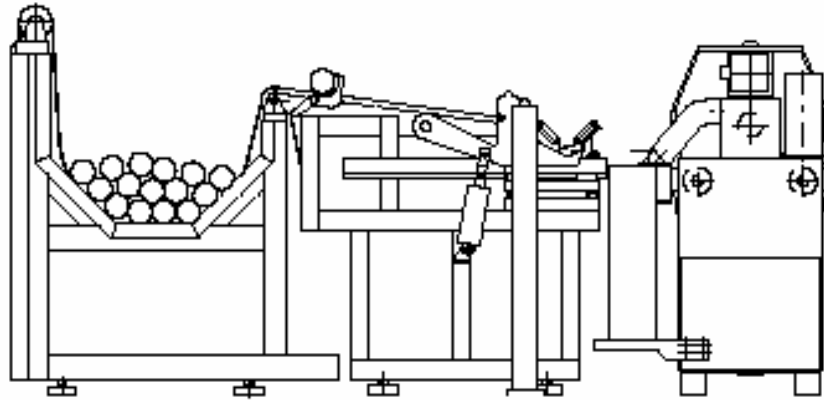
*Fig 1.16 Logotip del fabricant trumpf*

**Model**

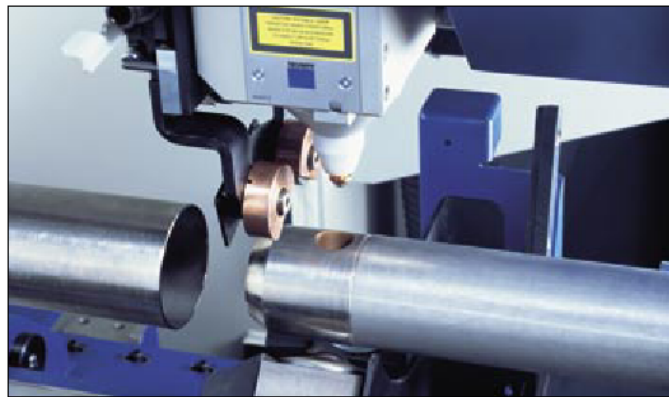
TUBEMATIC RC



*Fig 1.17 Tubematic RC*



*Fig 1.18 Esquema de la màquina*



*Fig 1.19 Detall del capçal de tall*



*Fig 1.20 Peces obtingudes amb la màquina*

## Especificacions

MÀQUINA		
Radi de treball	Eix x del tub	6500 mm
	Eix z de les guies	150 mm
Velocitats màximes de desplaçament	Eix x del tub	100 m/min
	Eix z de les guies	4 m/min
	Eix rotatori	120 RPM
Precisió	Increment mínim programable	0,01 mm / 0,001 °
	Precisió de posicionament	± 0,2 mm / 0,015 °
	Repetibilitat	± 0,05 mm / 0,005 °
Dimensions i pesos	Llarg	11500 mm
	Ample	4100 mm
	Alt	2100 mm
	Pes	1300 kg
PEÇA DE TREBALL		
Longitud màxima del tub	6500 mm	
Longitud mínima del tub	3000 mm	
Diàmetre màxim del tub	150 mm	
Diàmetre mínim del tub	38 mm	
Grossor màxim de la paret	4 mm	
Longituds de les parts acabades	20 mm – 1500 mm	
Pes màxim	20 kg	
LÀSER		
Sortida màxima garantida	Programable en increments de 1 %	2000 W
Longitud d'ona	10,6 µm	
Mode del raig	TEM <sub>00</sub>	
Freqüència	100 Hz – 10 Hz	
Consum	CO <sub>2</sub> (gas del làser)	1 l/h
	N <sub>2</sub> (gas del làser)	6 l/h
	He (gas del làser)	13 l/h
Gas de tall	500 – 2000 l/h	
Consum elèctric (valor de tota la unitat)	20 – 40 kW	

Taula 1.6 especificacions de la Trumpf Tubematic RC

## 1.8 Punxonadora de tubs

Després de tallar els tubs a la mesura indicada, el que s'ha de fer és produir els forats que han de portar a dins del cos del silenciós. Es tracta d'un conjunt de forats distribuïts per files que envolten tota la secció del silenciós.

Per a produir aquests forats utilitzarem una màquina especial de punxonat múltiple que va fent els forats per files i una vegada que està acabada la fila es fa girar lleugerament el tub per a produir els forats de la fila següent.

Aquestes són les característiques de la màquina:

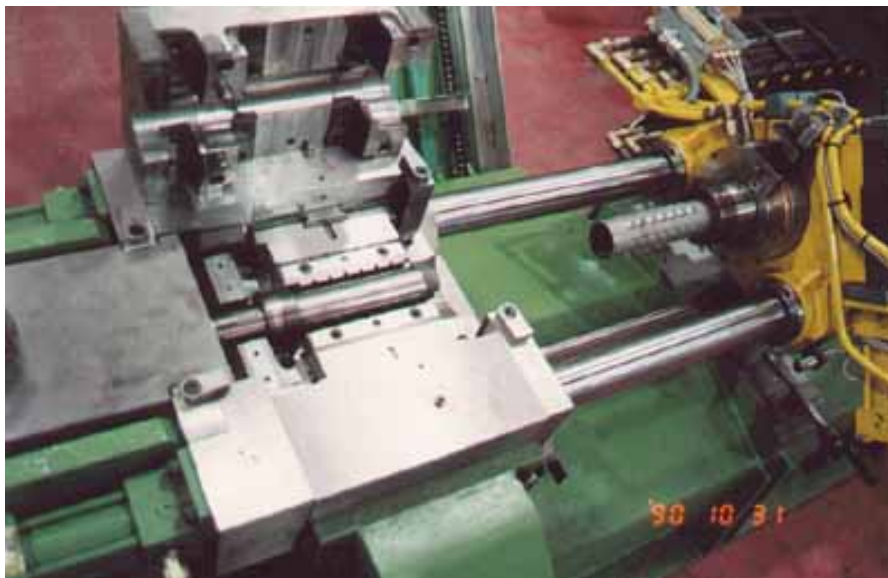
### Fabricant



*Fig 1.21 Logotip del fabricant Comas*

### Model

MC 0862



*Fig 1.22 Punxonadora de tubs Comas MC 0862*

## Especificacions

Diàmetres del tub	Màxim	75 mm
	Mínim	25 mm
Longitud màxima del tub	Màxim	500 mm
	Mínim	100 mm
Gruix màxim de la xapa	Acer al carboni i alumini	3,5 mm
	Acer inoxidable	2,5 mm
Dimensions	Ample	0,9 m
	Llarg	1,6 m
Potència del motor	9,5 kW	
Requeriments pneumàtics	6,3 bar - 520 l/min	

*Taula 1.7 Especificacions de Comas MC 0862*

## 1.9 Ranuradora d'extrems de tubs

Amb aquesta màquina es realitzaran les dos ranures que ha de tenir el tub d'entrada del silenciós per a facilitar la unió amb el tub d'escapament del vehicle.

El procés consisteix en una operació senzilla en la que s'introdueix manualment l'extrem del tub on es volen fer les ranures a la màquina i s'espera fins que s'acaba el procés.

Les característiques de la màquina són les següents:

### Fabricant



*Fig 1.23 Logotip del fabricant Comas*

### Model

Slotting Mc



Fig 1.24 Comas Slotting Mc

## Especificacions

Diàmetres del tub	Màxim	60 mm
	Mínim	30 mm
Gruix màxim de la xapa	Acer al carboni i alumini	2,5 mm
	Acer inoxidable	2 mm
Dimensions	Ample	0,5 m
	Llarg	0,9 m
Potència del motor	6,5 kW	

Taula 1.8 Especificacions de Comas Slotting Mc

## 1.10 Màquina per arrodonir extrems de tubs

S'utilitzarà per a realitzar un acabament més vistós del tub de sortida del silenciós que és el que es veurà a l'exterior del vehicle.

L'operació és igual de senzilla que en el cas anterior, s'introdueix el tub per la part que es vol arrodonir a la màquina i s'engega la màquina per a que produeixi l'arrodoniment del cantell exterior del tub.

La màquina té aquestes característiques:



## Fabricant



Fig 1.25 Logotip del fabricant Comas

## Model

MC R05

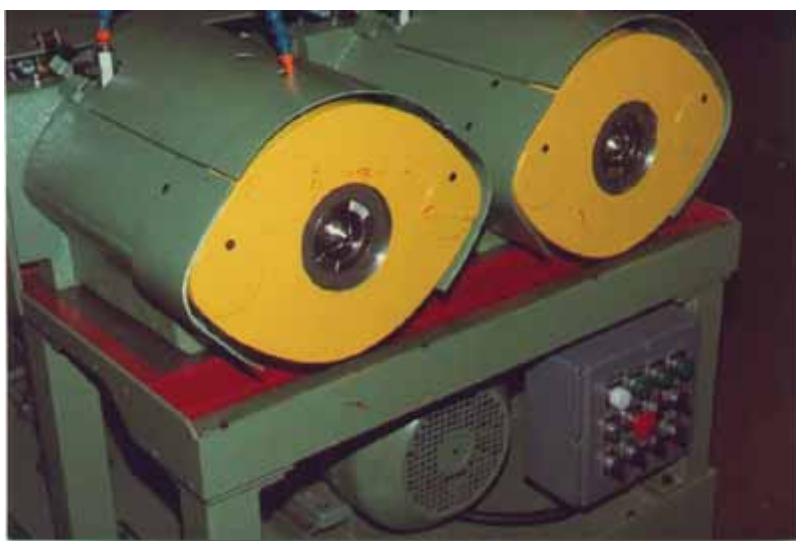


Fig 1.26 Comas MC R05

## Especificacions

Diàmetres del tub	Màxim	60 mm
	Mínim	30 mm
Gruix màxim de la xapa	Acer al carboni i alumini	3,5 mm
	Acer inoxidable	3,5 mm
Dimensions	Ample	0,7 m
	Llarg	1,1 m
Potència del motor	6,5 kW	

Taula 1.9 Especificacions de Comas MC R05

## 2 Maquinària específica per la producció de silenciósos

En les següents pàgines farem una breu descripció de les característiques i el funcionament del conjunt de màquines específiques del nostre producte que incorporarem a la línia de producció.

Són màquines específiques del nostre producte perquè es un conjunt de maquinària que es dissenya i es fabrica especialment per a la seva utilització el la producció de silenciósos, i s'adapten perfectament als diferents processos productius característics d'aquests tipus de productes.

La utilització d'aquest tipus de maquinària ens permet obtenir un aprofitament del temps i dels recursos òptims, ja que estaran adaptades especialment per al nostre disseny i això es traduirà en l'eliminació de temps morts com podrien ser l'adaptabilitat per a diferents processos en una sola màquina, l'intercanvi entre diferents eines de treball, etc.

### 2.1 Agrafadora longitudinal automatitzada

És la màquina que s'encarrega de realitzar la unió longitudinal de les xapes que formen la carcassa. La màquina escollida és tracta d'un model que té un funcionament totalment automatitzat, la funció dels operaris que s'encarreguin d'aquesta màquina serà únicament col·locar les xapes, que han estat tallades a la mesura necessària, apilades a la plataforma de càrrega de la màquina, i a partir d'aquí automàticament anirà agafant les xapes quan convingui, realitzarà el doblec que donarà la forma ovalada de la carcassa mitjançant una matriu, formarà l'agrafat longitudinal i finalment extraurà la peça acabada i la col·locarà en una cistella de descàrrega.

La màquina que ens realitzarà aquestes funcions, es tracta d'una estació d'alt rendiment que ens serà molt eficaç per a la nostra producció en sèrie.

Les característiques principals es poden veure a continuació:

#### Fabricant



#### Model

UP-1000 Lockseamer



Fig 1.28 Up-1000 Lockseamer



Fig 1.29 Detall del funcionament de la màquina



Fig 1.30 Corrons d'agrafat

## Especificacions

Secció màxima del silenciós	Rodona		230 mm
	Ovalada		230x375
	Asimètrica		No
Longitud màxima del silenciós	Màxim		1000
	Mínim		250
Gruix màxim de la xapa	Acer al carboni i alumini	Simple	1.5 mm
		Doble	1.75 mm
	Acer inoxidable	Simple	1.25 mm
		Doble	1.5 mm
Tassa de producció	Més de 500 peces/hr		
Dimensions	Ample		1.2 m
	Llarg		5.1 m
Potència del motor	12 kW		
Requeriments pneumàtics	8,5 bar - 340 l/min		

Taula 1.10 Especificacions de la UP-1000 Lockseamer

## 2.2 Eixampladora dels extrems de la carcassa

Aquesta màquina s'encarrega de la formació del plegament de la secció dels extrems de les xapes que formen la carcassa (que hem obtingut amb la màquina anterior), que és el pas previ necessari per a la formació posterior de l'agrafat doble amb les tapes.

Aquest procés es realitza simultàniament als dos extrems de la carcassa, la peça formada en la fase anterior es col·loca a la base, la màquina realitza el seu treball i a continuació expulsa la peça formada a un contenidor.

La màquina escollida en aquests cas és la següent:

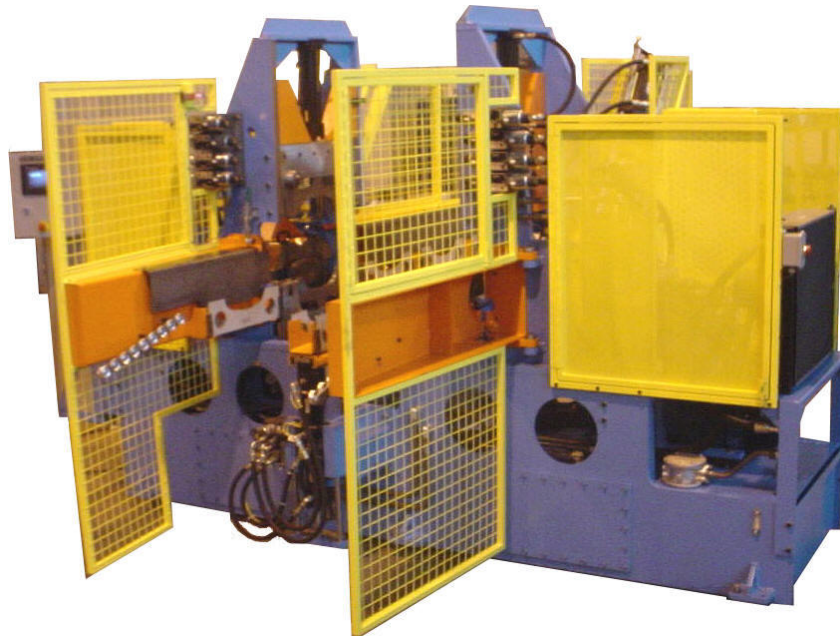
### Fabricant

**UPLAND TECHNOLOGIES**  
PRODUCTION SOLUTIONS FOR THE TUBE AND METAL FORMING INDUSTRIES

Fig 1.31 Logotip del fabricant Upland Technologies

## Model

OSF-250



*Fig 1.32 Upland OSF-250*



*Fig 1.33 Exemple de peces fabricades amb la màquina*



## Especificacions

Secció màxima del silenciós	Rodona		250 mm
	Ovalada		250x400
	Asimètrica		No
Longitud màxima del silenciós	Màxim		1000
	Mínim		250
Gruix màxim de la xapa	Acer al carboni i alumini	Simple	1.5 mm
		Doble	1.75 mm
	Acer inoxidable	Simple	1.25 mm
		Doble	1.5 mm
Temps màxim del cicle	9 segons		
Dimensions	Ample		1,4 m
	Llarg		2,2 m
Potència del motor	7,5 kW		
Requeriments pneumàtics	3 bar - 200 l/min		

Taula 1.11 Especificacions de OSF-250



Fig 1.34 Detall del capçal de la màquina

## 2.3 Màquina de muntatge i introducció de les peces interiors

Mitjançant aquesta màquina es realitzarà el muntatge dels grups de peces que s'allotgen a l'interior del cos del silenciós.

Els grups que s'incorporen al nostre producte ja s'han descrit al muntatge i consistiran en la unió de la paret interior amb forat centrat amb el tub d'entrada, i una paret interior amb forat descentrat amb el tub de sortida. Hi ha una tercera peça que és una paret sola amb forat descentrat.

Una vegada tenim aquests grups muntats, amb aquesta màquina també realitzem la seva introducció a la carcassa, que es col·locaran cadascuna al seu lloc a pressió.

### Fabricant

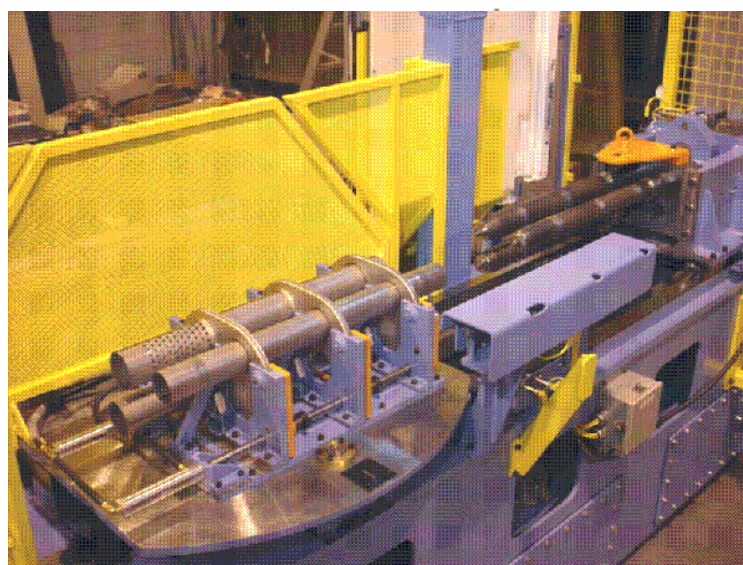
## UPLAND TECHNOLOGIES

**PRODUCTION SOLUTIONS FOR THE TUBE AND METAL FORMING INDUSTRIES**

*Fig 1.35 Logotip del fabricant Upland Technologies*

### Model

RST-500



*Fig 1.36 Upland RST-500*



Fig 1.37 RST-500

## Especificacions

Secció màxima del silenciós	Rodona		200 mm
	Ovalada		200x400
	Asimètrica		No
Longitud màxima del silenciós	Màxim		1000
	Mínim		250
Gruix màxim de la xapa	Acer al carboni i alumini	Simple	1.5 mm
		Doble	1.75 mm
	Acer inoxidable	Simple	1.25 mm
		Doble	1.5 mm
Temps màxim del cicle	9 segons		
Dimensions	Ample		1,1 m
	Llarg		3,6 m
Potència del motor	8 kW		
Requeriments pneumàtics	6 bar - 300 l/min		

Taula 1.12 Especificacions de la RST-500



## 2.4 Soldadora de les parets interiors

Es tracta d'una màquina dissenyada per a realitzar una soldadura per punts al voltant de les seccions exteriors de la carcassa on es situen les parets al seu interior.

Aquesta màquina disposa d'una matriu especialment dissenyada pel nostre producte, per on s'introdueix la carcassa i quan la matriu es topa amb una la paret, una sèrie de capçals situats al voltant de l'exterior de la carcassa realitzen uns punts de soldadura que fixen la paret definitivament.

La màquina que hem previst disposa de les característiques següents:

### Fabricant

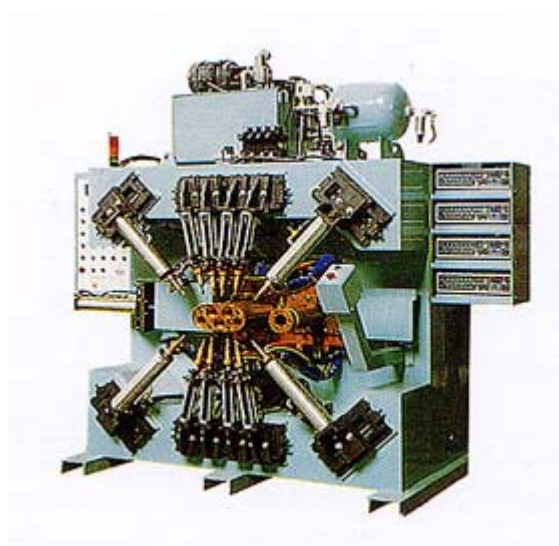


**HAO THING**

*Fig 1.38 Logotip del fabricant Hao Thing*

### Model

MW-12



*Fig 1.39 Soldadora de parets interiors MW-12*

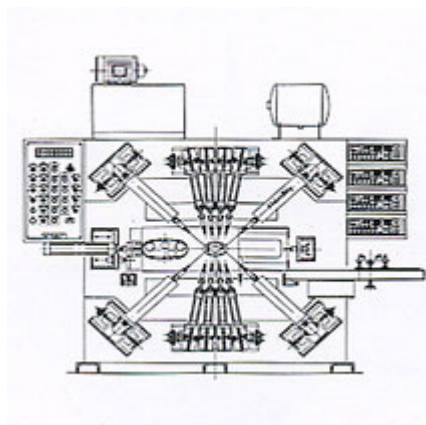


Fig 1.40 Detall esquemàtic de la màquina

## Especificacions

Secció màxima del silenciós	Rodona		300 mm
	Ovalada		300x450
	Asimètrica		No
Gruix màxim de la xapa	Acer al carboni i alumini	Simple	2 mm
		Doble	2 mm
	Acer inoxidable	Simple	1,75 mm
		Doble	1.75 mm
Temps màxim del cicle	6 segons		
Dimensions	Ample		1,4 m
	Llarg		1,8 m
Potència del motor	15 kW		
Requeriments pneumàtics	3,5 bar - 240 l/min		

Taula 1.13 Especificacions de la Hao Thing MW-12

## 2.5 Agrafadora doble vertical

És la màquina amb la que realitzarem la unió de la carcassa del silenciós amb les dues tapes dels extrems.

El funcionament consisteix en la col·locació sobre una base dels components a unir l'un damunt de l'altre i, una vegada així, la màquina comença a operar baixant una altra base superior, apropant els corròs d'agrafat i fent girar tot el muntatge per anar produint la costura.

Les condicions de la màquina escollida es poden observar a continuació:

### **Fabricant**



*Fig 1.41 Logotip del fabricant Comas*

### **Model**

MC 05V2



*Fig 1.42 Comas MC 05V2*

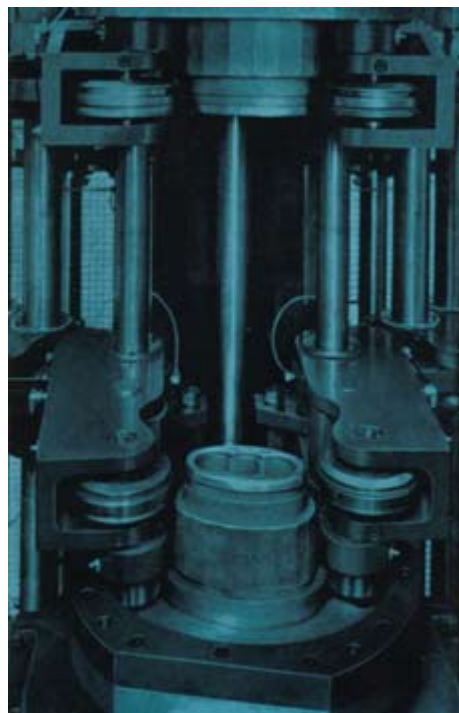


Fig 1.43 Detall del funcionament de la màquina

## Especificacions

Secció màxima del silenciós	Rodona		360 mm
	Ovalada		360x400
	Asimètrica		No
Longitud màxima del silenciós	Màxim		1100
	Mínim		180
Gruix màxim de la xapa	Acer al carboni i alumini	Simple	1.5 mm
		Doble	1.75 mm
	Acer inoxidable	Simple	1.25 mm
		Doble	1.5 mm
Temps màxim del cicle	14 segons		
Dimensions	Ample		1,1 m
	Llarg		1,9 m
Potència del motor	10 kW		
Requeriments pneumàtics	4,3 bar - 360 l/min		

Taula 1.14 Especificacions de Comas MC 05V2

## 2.6 Taula de soldadura rotativa

Aquest muntatge s'utilitzarà per a realitzar les soldadures exteriors dels tubs d'entrada i sortida amb les tapes del cos del silenciós.

Consisteix en un parell de capçals de soldadura que van aplicant un cordó de soldadura al voltant del tub mentre tota la carcassa del silenciós va girant, així s'aplica un cordó de soldadura uniforme i de qualitat.

El sistema descrit té les característiques que es mostren a continuació:

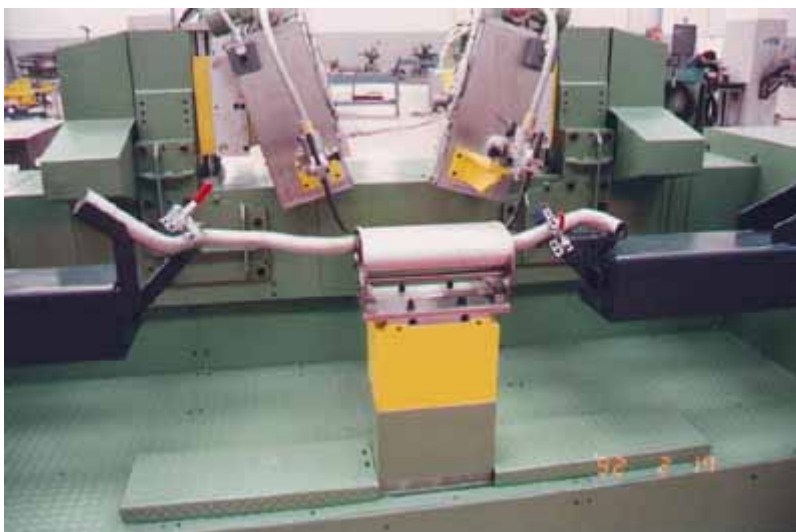
### Fabricant



*Fig 1.44 Logotip del fabricant Comas*

### Model

MC OS20



*Fig 1.45 Comas MC OS20*

## Especificacions

Longitud màxima del silenciós	Màxim	1200
	Mínim	200
Temps màxim del cicle	15 segons	
Dimensions	Ample	1,4 m
	Llarg	2,1 m
Potència del motor	5 kW	

*Taula 1.15 Especificacions de Comas MC OS20*

## ANNEX 2: CATÀLEGS

### 1 Acer inoxidable

#### TARIFA GRUPINOX

TARIFA DE PRECIOS PARA LA VENTA AL PÚBLICO DE:

#### TUBOS DE ACERO INOXIDABLE

EJECUCIÓN S/DIN. 17.455

TUBO REDONDO GAMA MILIMÉTRICA				
MEDIDAS		PESO KGS./MT	AISI-304	
MM.	ESP.		€/MT.	AISI-316 / 316-L €/MT.
6x4	1,0	0,126	1,85	3,89
8x6	1,0	0,176	2,41	4,07
10x8	1,0	0,226	2,88	5,03
12x10	1,0	0,277	3,40	5,80
13x10	1,5	0,456	5,55	9,25
14x12	1,0	0,327	3,61	6,60
15x12	1,5	0,510	5,68	9,93
16x14	1,0	0,378	3,97	7,15
16x13	1,5	0,545	5,59	-
18x16	1,0	0,428	4,17	7,80
18x15	1,5	0,623	5,97	11,06
20x10	1,0	0,478	4,40	8,25
20x17	1,5	0,699	6,29	11,93
22x19	1,5	0,774	-	13,19
23x20	1,5	0,812	7,35	14,01
25x23	1,0	0,604	5,38	10,28
25x22	1,5	0,888	7,48	14,63
26x23	1,5	0,990	7,98	-
28x25	1,5	1,001	8,55	16,59
30x27	1,5	1,077	9,00	17,68
33x30	1,5	1,190	9,21	18,91
35x32	1,5	1,266	9,58	19,93
38x35	1,5	1,379	10,70	21,87
43x40	1,5	1,568	11,70	24,55
44x40	2,0	2,111	15,66	33,79
50,8x47,8	1,5	1,863	14,08	29,31
53x50	1,5	1,946	14,40	30,36
63x60	1,5	2,309	17,38	36,56
73x70	1,5	2,702	21,22	42,67
76x73	1,5	2,780	20,30	43,40
84x80 L.F.	2,0	4,132	29,79	63,13
84x80 L.C.	2,0	4,132	29,18	-
104x100 L.F.	2,0	5,140	37,97	79,67
104x100 L.C.	2,0	5,140	37,11	-
129x125	2,0	6,400	46,51	102,23
154x150	2,0	7,660	55,66	122,36
204x200	2,0	10,180	73,88	165,37
254x250	2,0	12,700	102,82	212,71
304x300	2,0	15,220	128,45	263,98
354x350	2,0	17,500	149,25	305,55
406x400	3,0	30,497	256,75	530,86

TARIFA N°: 301/Rev.18 (08/02/05)

Taula 2.1 Tarifes de tubs d'acer inoxidable



01/07/05

TARIFA Nº101/REV.82

## TARIFA DE CHAPAS LAMINADAS EN FRÍO

TARIFA "A"					TARIFA "B"				TARIFA "C"				TARIFA DELEGADOS				
MM	AISI-304 2B EURO	AISI-304 BA EURO	AISI-316 EURO	AISI-430 EURO	AISI-304 2B EURO	AISI-304 BA EURO	AISI-316 EURO	AISI-430 EURO	AISI-304 2B EURO	AISI-304 BA EURO	AISI-316 EURO	AISI-430 EURO	AISI-304 2B EURO	AISI-304 BA EURO	AISI-316 EURO	AISI-430 EURO	MM
0,4	4,94	5,04	8,72	3,16	4,53	4,62	7,99	2,90	4,18	4,26	7,38	2,67	3,88	3,96	6,85	2,48	0,4
0,5	4,79	4,88	8,53	2,96	4,39	4,47	7,82	2,71	4,05	4,13	7,22	2,50	3,76	3,83	6,70	2,33	0,5
0,6	4,63	4,72	8,34	2,85	4,25	4,33	7,64	2,61	3,92	3,99	7,05	2,41	3,64	3,71	6,55	2,24	0,6
0,7	4,53	4,61	8,21	2,76	4,15	4,23	7,52	2,53	3,83	3,90	6,94	2,34	3,56	3,62	6,45	2,17	0,7
0,8	4,45	4,53	8,11	2,67	4,08	4,16	7,43	2,45	3,77	3,84	6,86	2,26	3,50	3,56	6,37	2,10	0,8
1,0	4,38	4,45	8,01	2,60	4,01	4,08	7,35	2,39	3,70	3,77	6,78	2,20	3,44	3,50	6,30	2,05	1,0
1,2	4,35	4,43	7,98	2,58	3,99	4,06	7,32	2,37	3,68	3,75	6,75	2,18	3,42	3,48	6,27	2,03	1,2
1,5	4,32	4,40	7,95	2,54	3,96	4,03	7,29	2,33	3,66	3,72	6,73	2,15	3,40	3,46	6,25	1,99	1,5
2,0	4,30	--	7,92	2,52	3,94	--	7,26	2,31	3,64	--	6,70	2,13	3,38	--	6,22	1,98	2,0
3,0	4,27	--	7,89	2,49	3,92	--	7,23	2,29	3,62	--	6,67	2,11	3,36	--	6,20	1,96	3,0
4,0 y+	4,27	--	7,89	2,49	3,92	--	7,23	2,29	3,62	--	6,67	2,11	3,36	--	6,20	1,96	4,0 y+

Taula 2.2 Preus de xapes d'acer inoxidable laminades en fred





## TARIFA DE BOBINAS LAMINADAS EN FRÍO




TARIFA "A"					TARIFA "B"				TARIFA "C"				TARIFA DELEGADOS				
MM	AISI-304 2B EURO	AISI-304 BA EURO	AISI-316 EURO	AISI-430 EURO	AISI-304 2B EURO	AISI-304 BA EURO	AISI-316 EURO	AISI-430 EURO	AISI-304 2B EURO	AISI-304 BA EURO	AISI-316 EURO	AISI-430 EURO	AISI-304 2B EURO	AISI-304 BA EURO	AISI-316 EURO	AISI-430 EURO	MM
0,4	4,79	4,88	8,53	2,96	4,39	4,47	7,82	2,71	4,05	4,13	7,22	2,50	3,76	3,83	6,70	2,33	0,4
0,5	4,66	4,74	8,37	2,83	4,27	4,35	7,67	2,59	3,94	4,01	7,08	2,39	3,66	3,73	6,57	2,22	0,5
0,6	4,53	4,61	8,21	2,72	4,15	4,23	7,52	2,49	3,83	3,90	6,94	2,30	3,56	3,62	6,45	2,13	0,6
0,7	4,45	4,53	8,11	2,65	4,08	4,16	7,43	2,43	3,77	3,84	6,86	2,24	3,50	3,56	6,37	2,05	0,7
0,8	4,38	4,45	8,01	2,58	4,01	4,08	7,35	2,37	3,70	3,77	6,78	2,18	3,44	3,50	6,30	2,03	0,8
1,0	4,35	4,43	7,98	2,54	3,99	4,06	7,32	2,33	3,68	3,75	6,75	2,15	3,42	3,48	6,27	1,99	1,0
1,2	4,32	4,40	7,95	2,52	3,96	4,03	7,29	2,31	3,66	3,72	6,73	2,13	3,40	3,46	6,25	1,98	1,2
1,5	4,30	4,37	7,92	2,49	3,94	4,01	7,26	2,29	3,64	3,70	6,70	2,11	3,38	3,44	6,22	1,96	1,5
2,0	4,27	--	7,89	2,47	3,92	--	7,23	2,26	3,62	--	6,67	2,09	3,36	--	6,20	1,94	2,0
3,0	4,25	--	7,85	2,45	3,89	--	7,20	2,24	3,59	--	6,64	2,07	3,34	--	6,17	1,92	3,0
4,0 y+	4,25	--	7,85	2,45	3,89	--	7,20	2,24	3,59	--	6,64	2,07	3,34	--	6,17	1,92	4,0 y+

Taula 2.3 Tarifes de bobines d'acer inoxidable laminades en fred

## 2 Llana de vidre

### Feltres

PRODUCTO	DIMENSIONES		ESPESOR (mm)	PRECIO (€/m²)	m²/bulto	m²/palet	m²/camión	CLASE LOGÍSTICA	PRESENTACIÓN
	LARGO (m)	ANCHO (m)							
Aislamiento exterior de conductos									
ISOAIR 30									
ISOAIR 40	17,5	1,20	30	4,90	21,00	420,00	7.560	A	
Manta de lana de vidrio, con un revestimiento de kraft + aluminio reforzado que actúa como soporte y barrera de vapor.	17,5	1,20	40	5,16	21,00	420,00	7.560	A	
ISOAIR A2 30									
ISOAIR A2 40	17,5	1,20	30	5,54	21,00	420,00	7.560	C	
Manta de lana de vidrio, con un revestimiento de aluminio reforzado, incombustible, que actúa como soporte y barrera de vapor.	17,5	1,20	40	5,77	21,00	420,00	7.560	C	
IBR ALUMINIO									
Manta de lana de vidrio, con un revestimiento de kraft + aluminio que actúa como soporte y barrera de vapor.	17,5	1,20	55	3,92	21,00	420,00	7.560	A	
Aislamiento interior de conductos									
INTRAVERO NETO									
Manta de lana de vidrio, con revestimiento NETO (tejido de altas prestaciones acústicas y mecánicas).	20,0	1,20	15	5,99	24,00	–	7.200	B	

PRODUCTO	DIMENSIONES		ESPESOR (mm)	PRECIO (€/m²)	m²/bulto	m²/palet	m²/camión	CLASE LOGÍSTICA	PRESENTACIÓN
	LARGO (m)	ANCHO (m)							
<b>IBR</b>									
Manta ligera de lana de vidrio, revestida por una de sus caras con un Kraft que actúa como barrera de vapor.	12,00	1,20	80	3,75	14,40	360,00	6.480	A	
	12,00	0,60	80	3,75	14,40	360,00	6.480	A	
	10,00	1,20	100	4,74	12,00	300,00	5.400	B	
<b>IBR VELO</b>									
Manta ligera de lana de vidrio, que incorpora en una de sus caras un velo de vidrio que aumenta su resistencia a la tracción.	12,00	1,20	80	4,24	14,40	288,00	5.184	A	
<b>IBR DESNUDO</b>									
Manta ligera de lana de vidrio.	12,00	1,20	80	3,49	14,40	360,00	6.480	A	
	10,00	1,20	100	4,37	12,00	300,00	5.400	A	

Taula 2.4 Especificacions d'alguns feltres de llana de vidre

## Borra

PRODUCTO	PRESENTACIÓN	PRECIO (€/Kg)	kg/bulto	kg/camión	CLASE LOGÍSTICA
<b>BORRA</b> Lana de vidrio a granel, con una ligera imprimación de aceite mineral para facilitar su manipulación.	Bolsa de polietileno	<b>3,56</b>	10,00	3.500	A

Taula 2.5 Especificacions de la borra de llana de vidre

## Coquilles

PRODUCTO	DIÁMETRO		ESPESORES							
	TUBERÍA "	Interior. Coquillas. mm	30 mm		40 mm		50 mm		60 mm	
			€/ml	ml/bolsa	€/ml	ml/bolsa	€/ml	ml/bolsa	€/ml	ml/bolsa
<b>COQUILLAS</b>  Elementos moldeados de lana de vidrio con forma cilíndrica y estructura concéntrica. Llevan practicada una abertura en su generatriz para permitir su colocación sobre la tubería.	1/2	21	<b>2,34</b>	44,40	<b>3,02</b>	30,00				
	3/4	27	<b>2,57</b>	38,40	<b>3,35</b>	26,40				
	1	34	<b>2,68</b>	32,40	<b>3,71</b>	22,80	<b>4,88</b>	16,80		
	1 1/4	42	<b>2,87</b>	27,60	<b>4,10</b>	20,40	<b>5,24</b>	14,40		
	1 1/2	48	<b>3,17</b>	25,20	<b>4,39</b>	18,00	<b>5,74</b>	13,20		
	2	60	<b>3,55</b>	21,60	<b>4,83</b>	15,60	<b>6,29</b>	12,00		
	2 1/2	76	<b>3,89</b>	15,60	<b>5,54</b>	12,00	<b>7,62</b>	9,60		
	3	89	<b>4,64</b>	13,20	<b>6,29</b>	10,80	<b>8,12</b>	8,40		
	4	114	<b>5,49</b>	9,60	<b>7,46</b>	8,40	<b>9,40</b>	7,20	<b>11,67</b>	6,00
	5	140	<b>6,29</b>	7,20	<b>9,04</b>	6,00	<b>11,34</b>	4,80	<b>13,71</b>	4,80
	6	169	<b>7,65</b>	6,00	<b>10,59</b>	4,80	<b>13,17</b>	4,80	<b>15,97</b>	3,60
	8	219	<b>9,88</b>	3,60	<b>13,59</b>	3,60	<b>16,51</b>	3,60	<b>19,89</b>	2,40

Longitud: 1,20 m. Bultos/camión: 250. CLASE LOGÍSTICA: B.

Nota: Para diámetros de 10" y espesores mayores de 60 mm consultar.

Taula 2.6 Especificacions d'una coquilla de llana de vidre

### 3 Abraçadora

#### Abrazaderas metálicas

Metallic Clamp | Colliers métalliques | Schraubrohrschellen aus Metall

##### 2.8 ABRAZADERAS METÁLICAS SIN-FIN

Hose clamps | Colliers de serrage | Schlauchschellen aus Metall mit Schneckengewinde



**Aplicación:** Para la sujeción de tubos y mangueras de agua, gas, neumática, etc.

**Características:** El diseño de su banda sin perforaciones y bordes redondeados evitan el corte y deterioro de la manguera.

**Material:** Acero cincado, según DIN 3017. También disponible, bajo pedido, en Acero Inoxidable.

**Application:** For fastening hose pipes of water, gas, pneumatic, etc.

**Features:** No holes and a special design of the edges, prevent cutting and damaging the house pipe.

**Material:** Zinc plated steel according to DIN 3017. Also available in stainless steel if required.

**Application:** Pour la fixation des tuyaux et tuyauteries d'eau, gaz, air comprimé, etc.

**Caractéristiques:** La conception de leur bande sans perforations et à bords arrondis empêche endommager la tuyauterie.

**Matériel:** Acier zingué, selon DIN 3017. Egalement disponible sur demande en acier inoxydable.

**Anwendungsbereich:** Für die Halterung von Rohren und Schläuchen für Wasser, Gas, Druckluft usw.

**Eigenschaften:** Das Design des ungelochten Bandes und die abgerundeten Kanten vermeiden, dass der Schlauch angeschnitten und zerstört wird.

**Material:** Verzinkter Stahl gem. DIN 3017. Auf Anfrage auch in Edelstahl erhältlich.



ABRAZADERAS SIN-FIN				
Hose clamps   Colliers de serrage   Schlauchschellen mit Schneckengewinde				
COD	Ø min/max mm.	Unid.	Unid.	€ 100
16012	8-16	100	1200	37,080
16016	12-22	100	1200	38,090
16024	16-25	100	1200	41,010
16028	20-32	100	1200	44,900
16036	25-40	100	1000	47,930
16045	32-50	50	500	54,080
16052	40-60	50	500	60,910
16060	50-70	50	500	75,530
16067	60-80	25	250	84,050
16082	70-90	25	250	87,960
16097	80-100	25	250	93,830
16112	90-110	25	250	116,320
16127	100-120	25	250	132,940
16142	120-140	25	250	162,280
16157	130-150	25	250	172,060

#### SISTEMAS DE FIJACIÓN

Taula 2.7 Especificacions de l'abraçadora metàl·lica per a la unió amb el tub d'escapament del vehicle

## 4 Barretes

### ROLDAN

#### Barras Varillas Inox

##### TOLERANCIAS

Acabado Diámetro mm	Descortezado	Descortezado / Pulido	Calibrado	Rectificado Pulido
2,00 – 30,00	-	-	h9 / h10 / h11 ASTM-A-484	h8 / h9 ASTM-A-484
22,51 – 30,00	DIN1013 h11	h10 / h11 ASTM-A-484	-	h8 / h9 ASTM-A-484
30,01 – 90,49	DIN1013 h11	h9 / h10 ASTM-A-484	-	h8 / h9 ASTM-A-484

Cualquier otra especificación bajo consulta.  
Precio: 4,16 €/m<sup>3</sup>

USOS
Alta Maquinabilidad (ROLDAMAX)
Maquinabilidad mejorada (ROLDAMAX)
Estampación
Usos generales

##### PROPIEDADES MECÁNICAS

CALIBRADO/ CALIBRADO - RECTIFICADO	AUSTENÍTICO (AISI 304)	AUSTENÍTICO FÁCIL MECANIZADO (AISI 303)	AUSTENÍTICO MAQUINABILIDAD MEJORADA (ROLDAMAX)	AUSTENÍTICO Mo (AISI 316)	FERRÍTICO (AISI 430)	FERRÍTICO FÁCIL MECANIZADO (AISI 430F)
Resistencia a la Tracción (kg/mm <sup>2</sup> )	75-85	80-90	75-85	75-85	60-70	65-75
Límite Elástico (kg/mm <sup>2</sup> )	65-75	70-80	60-70	65-75	50-60	55-65
Alargamiento 5d (%)	35-40	30-35	35-40	30-35	16-24	15-20
Reducción Área (%)	68-74	50-55	68-74	68-74	64-72	55-60
Dureza (HB)	220-235	225-240	220-235	210-230	190-210	200-220

DESCORTEZADO / DESCORTEZADO-RECTIFICADO	AUSTENÍTICO (AISI 304)	AUSTENÍTICO FÁCIL MECANIZADO (AISI 303)	AUSTENÍTICO MAQUINABILIDAD MEJORADA (ROLDAMAX)	AUSTENÍTICO Mo (AISI 316)
Resistencia a la Tracción (kg/mm <sup>2</sup> )	60-65	62-67	60-65	60-65
Límite Elástico (kg/mm <sup>2</sup> )	32-37	32-37	30-35	30-35
Alargamiento 5d (%)	55-60	55-60	55-60	55-60
Reducción Área (%)	68-74	55-60	68-74	68-74
Dureza (HB)	150-170	160-180	150-170	150-170

Taula 2.8 Característiques de barretes d'acer inoxidable

## 5 Cargols

[illegible]

*Taula 2.9 Especificacions dels cargols de subjecció al vehicle*



ESPECIFICACIONES TÉCNICAS  
TECHNICAL SPECIFICATIONS  
SPECIFICATIONS TECHNIQUES

5

TORNILLO ROSCA CHAPA  
SELF TAPPING SCREW  
VIS A TÔLE

LONGITUD LENGTH LONGUEUR		L (mm.)	
		Max	Min
6,5	1/4"	7,30	5,70
9,5	3/8"	10,30	8,70
13	1/2"	13,80	12,20
16	5/8"	16,80	15,20
19	3/4"	19,80	18,20
22	7/8"	22,80	21,20
25	1"	25,80	24,20
32	1"1/4	33,30	30,70
38	1"1/2	39,30	36,70
45	1"3/4	46,30	43,70

LONGITUD LENGTH LONGUEUR		L (mm.)	
		Max	Min
50	2"	51,30	48,70
60	2"3/8	61,60	58,40
70	2"3/4	71,60	68,40
80		81,60	78,40
90		91,60	88,40
100		101,60	98,40
120		121,60	118,40

TORNILLO ROSCA CHAPA - PAR MAXIMO DE ATORNILLADO RECOMENDADO  
SELF TAPPING SCREW - MAXIMUM RECOMENDED ASSEMBLY TORQUE  
VIS A TÔLE - COUPLE DE VISSAGE MAXIMUM

MEDIDA SIZE DIMENSION		Par Maximo Maximum torque Couple Max.
2,20	2	2,50 kg/cm
2,90	4	8,30 kg/cm
3,20	5	11,20 kg/cm
3,50	6	15,00 kg/cm
3,90	7	18,50 kg/cm
4,20	8	24,50 kg/cm
4,80	10	35,00 kg/cm
5,50	12	52,00 kg/cm
6,30	14	77,00 kg/cm

Si se realiza el montaje utilizando un par de atornillado superior al indicado en la tabla, habrá un elevado riesgo de rotura del tornillo

INDUSTRIAS LOTU S.A. · Tel.: 948 18 85 16 · Fax: 948 18 84 70 · www.lotu.com · E-mail: industrias@lotu.com

Taula 2.10 Característiques tècniques dels cargols de subjecció al vehicle





## DIN 933 - 4.8.

C/EXAGONAL ROSCA METRICA RECUBRIMIENTO CINCADO  
 HEXAGONAL HEAD MACHINE SCREW ZINC PLATED  
 VIS A METAUX TÊTE HEXAGONALE ZINGUÉ

MEDIDA SIZE DIMENSION	Pzas/100	Euro/1000	Envasado Packing Emballage	Embalaje Carton Emballage
M-3x6	255	15,33	GRANEL - BULK - VRAC	
M-3x8	240	14,42	GRANEL - BULK - VRAC	
M-3x10	245	14,72	GRANEL - BULK - VRAC	
M-3x12	245	14,72	GRANEL - BULK - VRAC	
M-3x15	255	15,33	GRANEL - BULK - VRAC	
M-3x20	285	17,13	GRANEL - BULK - VRAC	
M-3x25	320	19,23	GRANEL - BULK - VRAC	
M-3x30	360	21,64	GRANEL - BULK - VRAC	
M-4x8	255	15,33	GRANEL - BULK - VRAC	
M-4x10	270	16,23	GRANEL - BULK - VRAC	
M-4x12	270	16,23	GRANEL - BULK - VRAC	
M-4x15	275	16,53	GRANEL - BULK - VRAC	
M-4x20	310	18,63	GRANEL - BULK - VRAC	
M-4x25	340	20,43	GRANEL - BULK - VRAC	
M-4x30	390	23,44	GRANEL - BULK - VRAC	
M-4x35	460	27,65	GRANEL - BULK - VRAC	
M-4x40	530	31,85	GRANEL - BULK - VRAC	
M-5x8	355	21,34	GRANEL - BULK - VRAC	
M-5x10	370	22,24	GRANEL - BULK - VRAC	
M-5x12	370	22,24	GRANEL - BULK - VRAC	
M-5x15	400	24,04	GRANEL - BULK - VRAC	
M-5x20	430	25,84	GRANEL - BULK - VRAC	
M-5x25	470	28,25	GRANEL - BULK - VRAC	
M-5x30	515	30,95	GRANEL - BULK - VRAC	
M-5x35	590	35,46	GRANEL - BULK - VRAC	
M-5x40	655	39,37	GRANEL - BULK - VRAC	
M-5x45	755	45,38	GRANEL - BULK - VRAC	
M-5x50	870	52,29	GRANEL - BULK - VRAC	
M-5x55	955	57,40	GRANEL - BULK - VRAC	
M-5x60	1000	60,10	GRANEL - BULK - VRAC	
M-6x10	465	27,95	GRANEL - BULK - VRAC	
M-6x12	465	27,95	GRANEL - BULK - VRAC	
M-6x15	445	26,75	GRANEL - BULK - VRAC	
M-6x20	490	29,45	GRANEL - BULK - VRAC	
M-6x25	535	32,15	GRANEL - BULK - VRAC	
M-6x30	605	36,36	GRANEL - BULK - VRAC	
M-6x35	710	42,67	GRANEL - BULK - VRAC	
M-6x40	785	47,18	GRANEL - BULK - VRAC	
M-6x45	885	53,19	GRANEL - BULK - VRAC	
M-6x50	955	57,40	GRANEL - BULK - VRAC	
M-6x55	1070	64,31	GRANEL - BULK - VRAC	
M-6x60	1190	71,52	GRANEL - BULK - VRAC	

Artículo de fabricación normal - Standard product - Pièce de fabrication série

INDUSTRIAS LOTU S.A. · Tel.: 948 18 85 16 · Fax: 948 18 84 70 · [www.lotu.com](http://www.lotu.com) · E-mail: [industrias@lotu.com](mailto:industrias@lotu.com)

*Taula 2.11 Especificacions del cargol de subjecció de la base metàl·lica i la peça de cautxú*



## 6 Femelles de cargol

### Catálogo de Productos

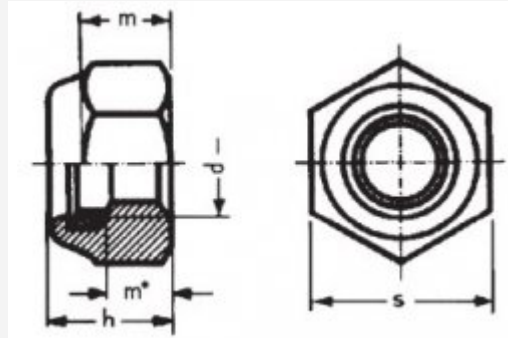


Artículo de la familia: **Tuercas**

#### DIN 985

**Tuerca exagonal autoblocante (inserto nylon)**

INOX. AISI 304



Medida	M4	M5	M6	M8	M10	M12	M14	M16
Paso	0,7	0,8	1	1,25	1,5	1,75	2	2
h	5	5	6	8	10	12	14	16
s		8	10	13	17	19	22	24

### Catálogo de Productos

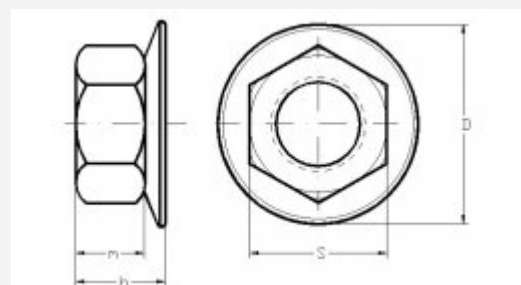


Artículo de la familia: **Tuercas**

#### DIN 6927

**Tuerca exagonal con brida autoblocante metálica**

Métrico Calidad 10



Medida	M 5	M 6	M8	M10	M12	M14	M16	M20
Paso	0,8	1	1,25	1,5	1,75	2	2	2,5
D max.	11,8	14,7	17,9	21,8	26	29,9	34,5	42,8
m	5	6	8	10	12	14	16	20
s	8	10	13	15	18	21	24	30

Taula 2.13 Especificacions de femelles de cargol

## 7 Sistemes d'empaquetat

### Caja Galia

Especial para el sector del automóvil



Caja especialmente concebida para todos los industriales del sector del automóvil, aunque puede utilizarse igualmente para sectores afines y/o varios. Entrega en plano.

**Normalizado:** de acuerdo a las normas impuestas por la asociación GALIA (código Fefco 0201 y 0312). Impresión de la leyenda GALIA en las dos caras contiguas conforme a la normativa vigente. Referencias A16, A15: canal simple. El resto de referencias: canal doble.



Ref	paquete de	longitud x ancho x altura exteriores en cm	para palet	longitud x ancho x altura interiores en cm	Precios en € sin IVA la caja	-10%	-15%	-20%
					por 1 y +	por 100 y +	por 200 y +	por 500 y +
A16	20	30 x 20 x 12,5	P80-P100	29 x 19 x 10,5	0,54 €	0,48 €	0,45 €	0,42 €
A15	20	30 x 20 x 20	P80-P100	29 x 19 x 18	0,58 €	0,52 €	0,49 €	0,46 €
A14	20	40 x 30 x 15	P80	38,5 x 28,5 x 12	1,03 €	0,92 €	0,87 €	0,82 €
A13	20	40 x 30 x 20	P80	38,5 x 28,5 x 17	1,10 €	0,99 €	0,93 €	0,88 €
A12	20	40 x 30 x 30	P80	38,5 x 28,5 x 27	1,35 €	1,21 €	1,14 €	1,08 €
A11	20	60 x 40 x 20	P80	58,5 x 38,5 x 17	1,88 €	1,69 €	1,59 €	1,50 €
A10	20	60 x 40 x 25	P80	58,5 x 38,5 x 22	1,92 €	1,72 €	1,63 €	1,53 €
A09	10	60 x 40 x 30	P80	58,5 x 38,5 x 27	2,10 €	1,89 €	1,78 €	1,68 €

### Caja para tornillería con tapa y asas



Especial para el sector del automóvil

Caja especialmente concebida para todos los industriales del sector del automóvil, aunque puede utilizarse igualmente para sectores afines y/o varios. Entrega en plano.

**Normalizado:** de acuerdo a las normas impuestas por la asociación GALIA (código Fefco 0201 y 0312). Impresión de la leyenda GALIA en las dos caras contiguas conforme a la normativa vigente. Canal simple.

Ref	paquete de	longitud x ancho x altura exteriores en cm	para palet	longitud x ancho x altura interiores en cm	Precios en € sin IVA la caja	-10%	-15%	-20%
					por 1 y +	por 100 y +	por 200 y +	por 500 y +
C40	25	30 x 20 x 9	P80-P100	26,5 x 19 x 8,5	0,64 €	0,57 €	0,54 €	0,51 €

Taula 2.14 Característiques de capsas de cartró per a l'empaquetat

## SPAN-PACK



¡Para proteger la mayoría de los productos!

Ligero y antichoque: densidad aparente entre 4 y 5kg/m³. lo cual indica que del 98 al 99% del material es aire. Soporta cargas entre 45 y 62 gr/cm².

Gracias a su forma, las partículas se entrelazan, lo cual permite fijar el artículo embalado.

Económico: sus partículas le permiten utilizar solo lo necesario, fácil y rápido de utilizar.

Ecológico: reciclable simplemente calentándolo, sin humos, sin contaminación de agua, y sin generar residuos. Durante su transformación no se ha utilizado CFC's ni HCFC's.

Fabricado en polietileno expandido EPS.



Ref	Precios en € sin IVA la bolsa	-5%	-10%	-15%	-25%
	por 1 y +	por 3 y +	por 5 y +	por 10 y +	por 20 y +
SPACKES	29,95 €	28,45 €	26,95 €	25,45 €	21,50 €

Taula 2.15 Característiques del material de farciment de la caixa



# PLÀNOLS





# ÍNDIX DELS PLÀNOLS

## **PLÀNOLS DEL DISSENY ORIGINAL DEL SILENCIÓS.....381**

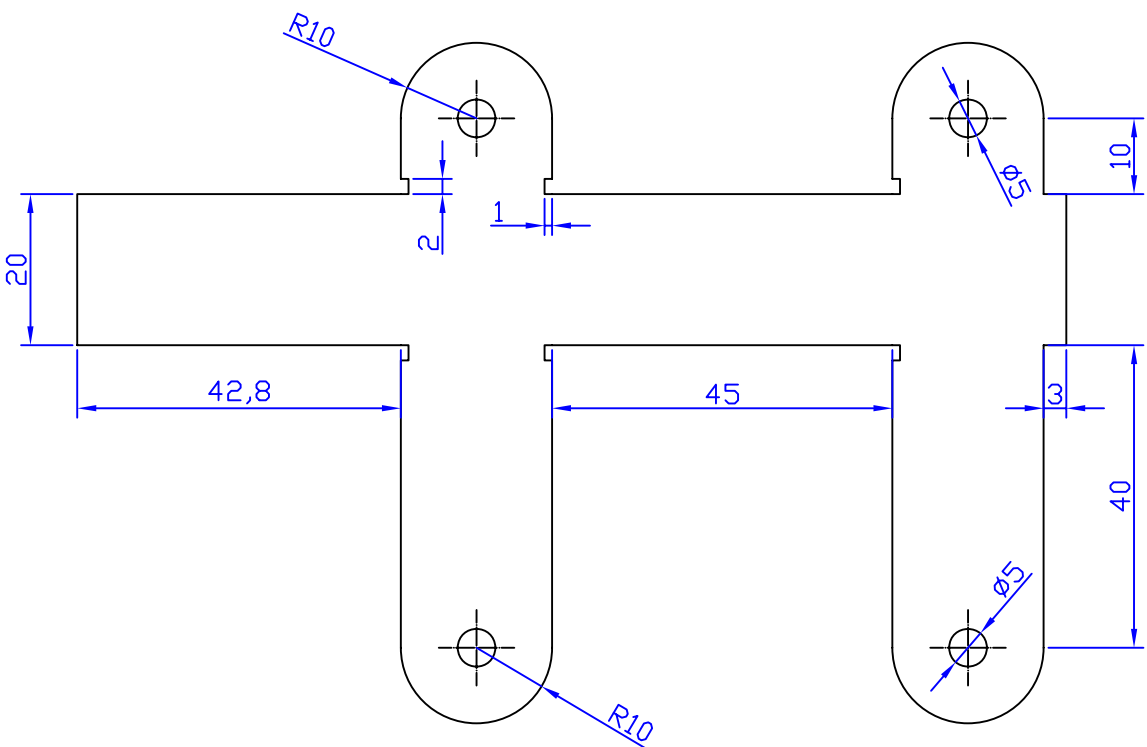
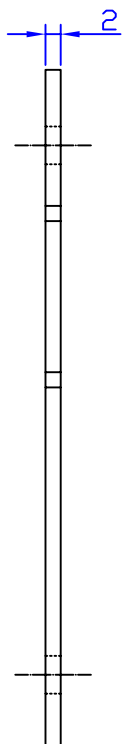
1 Carcassa .....	383
2 Paret exterior davantera .....	385
3 Paret exterior posterior .....	387
4 Paret interior 1 .....	389
5 Paret interior 2 .....	391


## **PLÀNOLS DEFINITIUS DE FABRICACIÓ.....393**

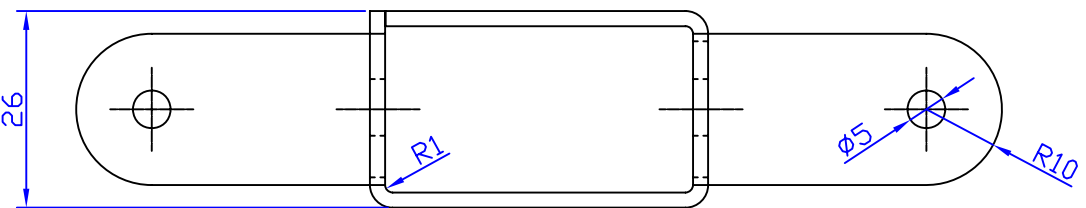
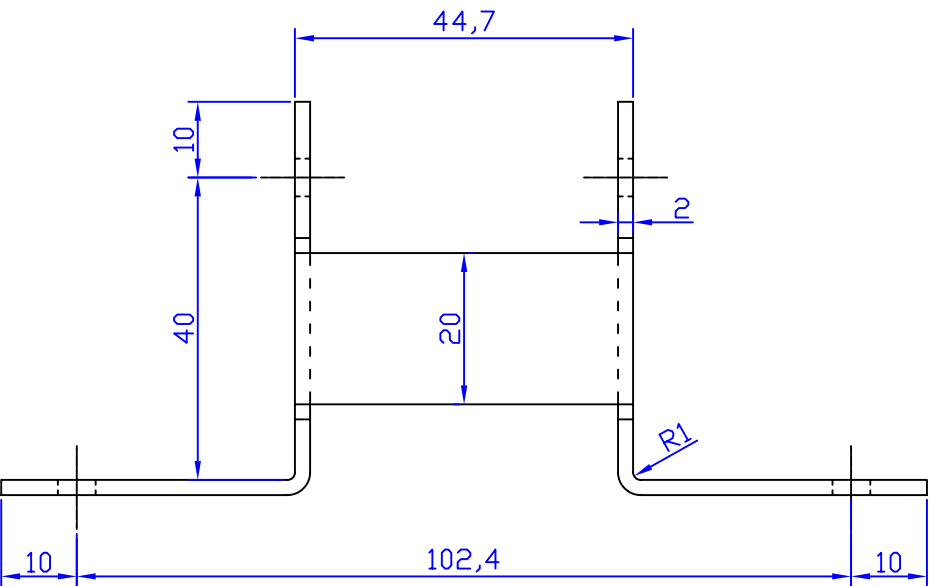
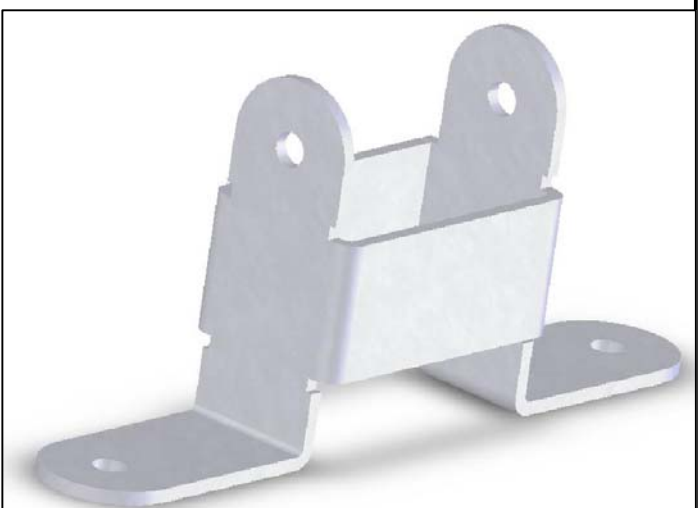
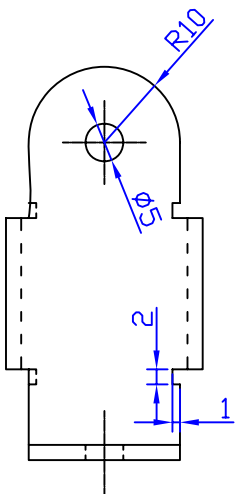
1 Operació 1 de la carcassa (agrafat longitudinal) .....	395
2 Operació 2 de la carcassa (plegament de preparació per l'agrafat doble amb les tapes) .....	397
3 Tapa exterior davantera (geometria de tall) .....	399
4 Tapa exterior davantera (operació prèvia a l'agrafat) .....	401
5 Tapa exterior posterior (geometria de tall) .....	403
6 Tapa exterior posterior (operació prèvia a l'agrafat) .....	405
7 Paret interior 1 (geometria de tall de la xapa) .....	407
8 Paret interior 1 (peça acabada) .....	409
9 Paret interior 2 (geometria de tall de la xapa) .....	411
10 Paret interior 2 (peça acabada) .....	413
11 Tub d'entrada.....	415
12 Tub de sortida.....	417
13 Silenciós en conjunt.....	419
14 Silenciós en explosió.....	421
15 Base de subjecció (geometria de tall) .....	423
16 Base de subjecció (peça acabada) .....	425
17 Element intermedi d'unió.....	427
18 Muntatge dels ancoratges.....	429
19 Proposta de fàbrica per desenvolupar l'activitat.....	431
20 Flux de producció dins de la fàbrica.....	433
21 Moviment dels operaris dins de la fàbrica.....	435



**PLÀNOLS DEL DISSENY ORIGINAL  
DEL SILENCIÓS**

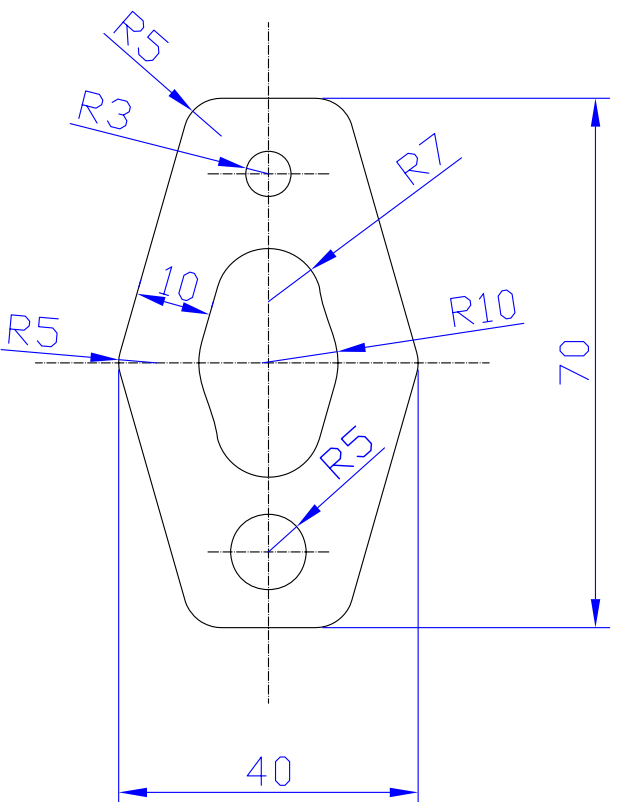
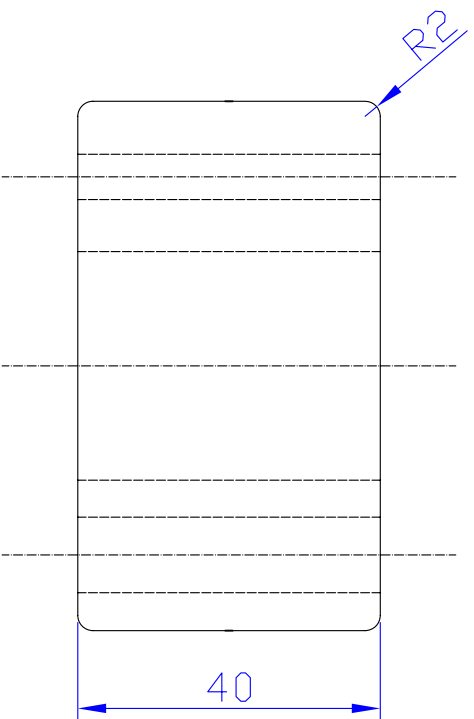
# **PLÀNOLS DEFINITIUS DE FABRICACIÓ**





 <b>SIGNATURA:</b>		<b>DESCRIPCIÓ:</b> Base de subjecció (geometria de tall)	
<b>ESCALA:</b> 1:1		<b>REFERÈNCIA:</b> 014011	
<b>FORMAT:</b> A4		<b>AUTOR:</b> Oscar Padilla Gonzalez	<b>Plànol</b> 15/21
<b>DATA:</b> Octubre de 2006		<b>PROFECTE:</b> Planificació del procés de producció en sèrie d'un silenciós d'escapament per a un turisme de gamma mitjana	



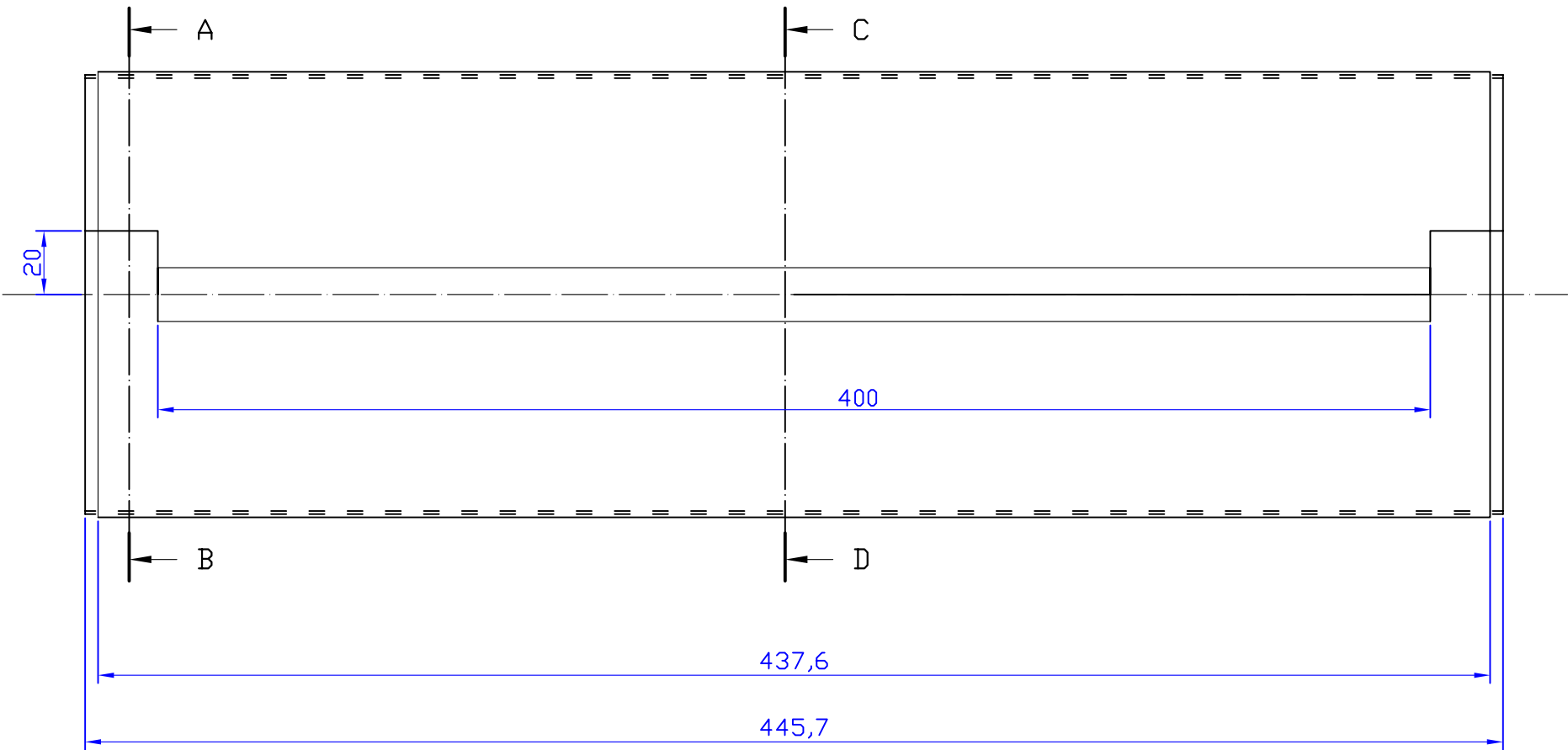
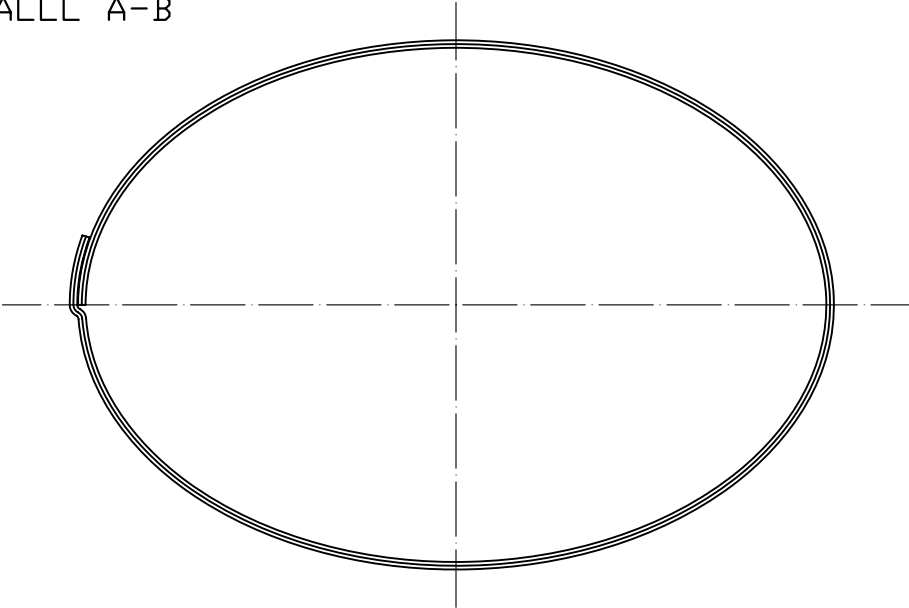
		SIGNATURA:	
ESCALA: 1:1	FORMAT: A4	DESCRIPCIÓ: Base de subjecció (peça acabada)	
DATA: Octubre de 2006		REFERÈNCIA: 014011	
PROJECTE: Planificació del procés de producció en sèrie d'un silenciós d'escapament per a un turisme de gamma mitjana		AUTOR: Oscar Padilla Gonzalez	Plànol 16/21



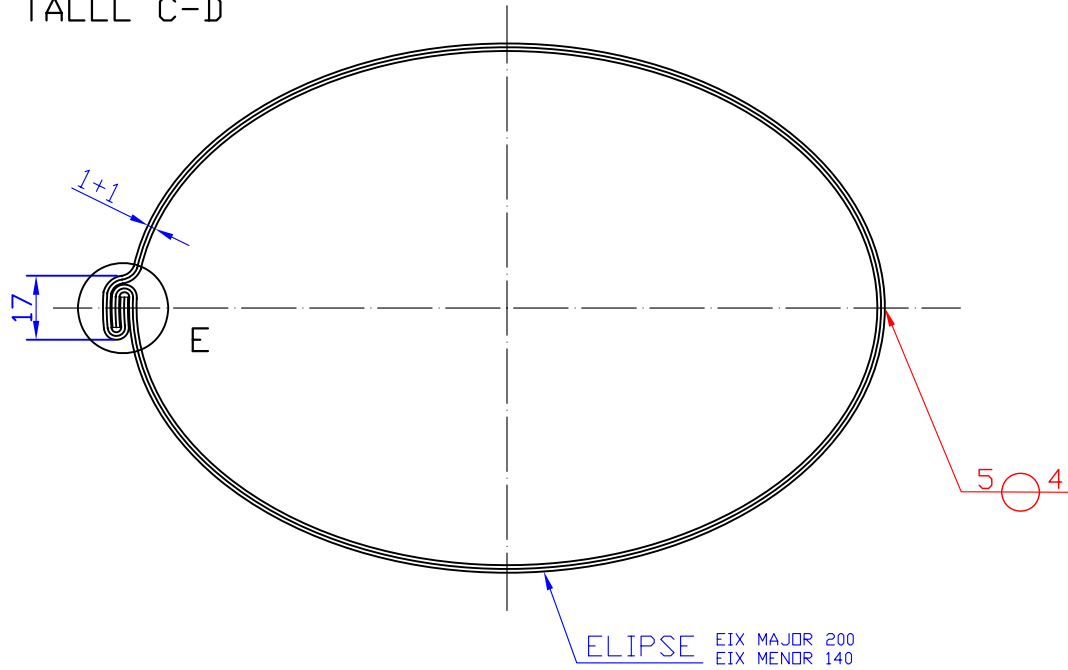
		SIGNATURA:		DESCRIPCIÓ: Element intermedi d'unió	
Universitat de Lleida				REFERÈNCIA: 015001	
ESCALA: 1:1	FORMAT: A4	AUTOR: Oscar Padilla Gonzalez		Plànol 17/21	
DATA: Octubre de 2006		PROJECTE: Planificació del procés de producció en sèrie d'un silenciós d'escapament per a un turisme de gamma mitjana			



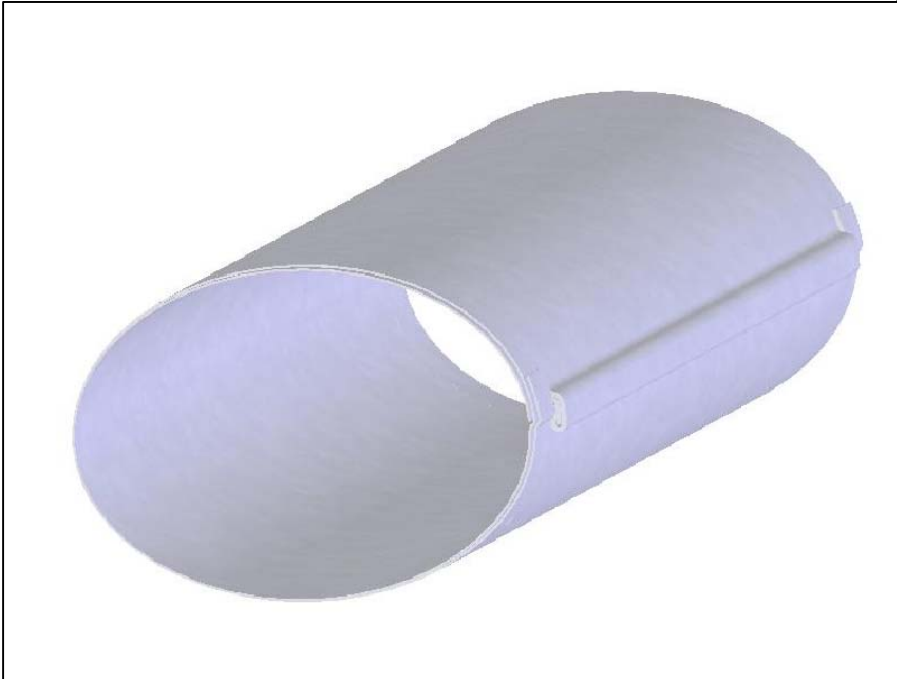
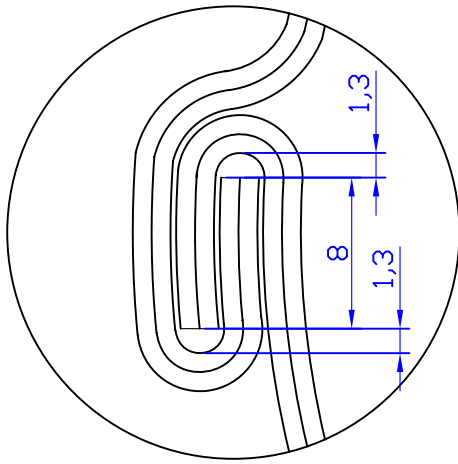
TALLL A-B





TALLL C-D



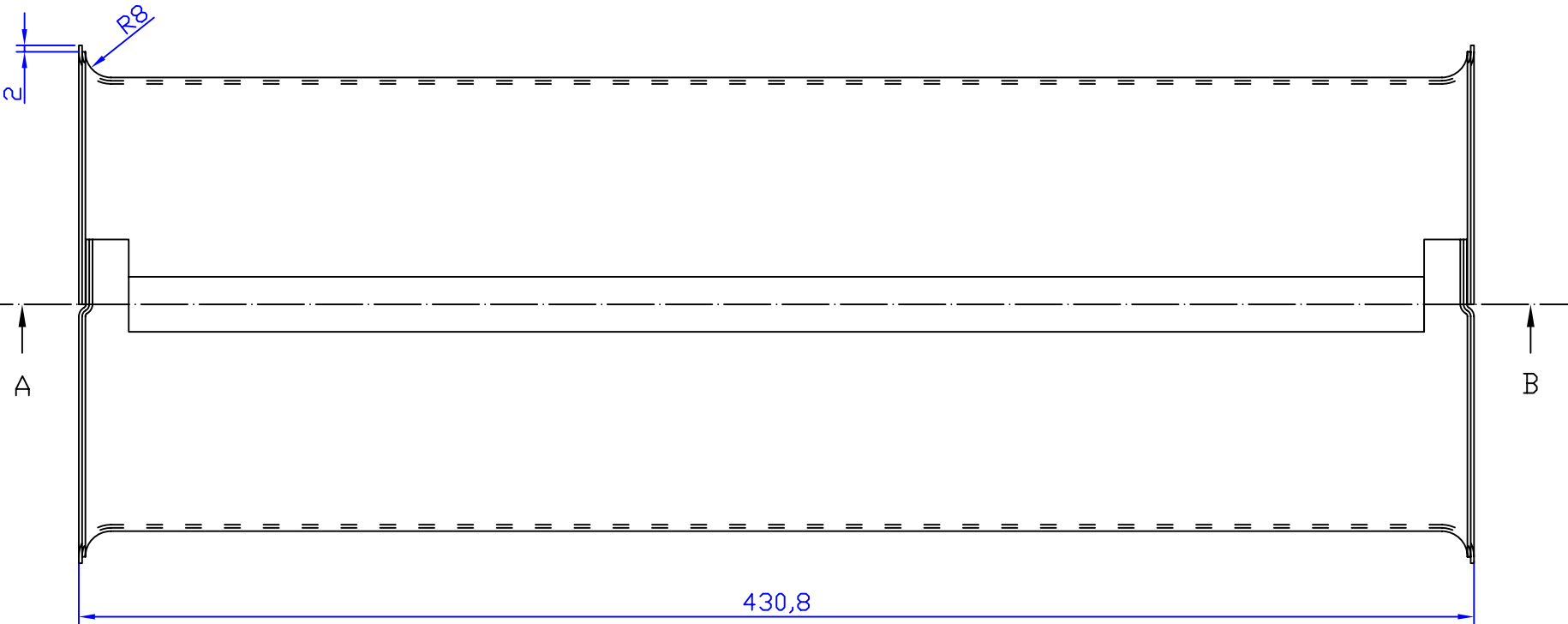
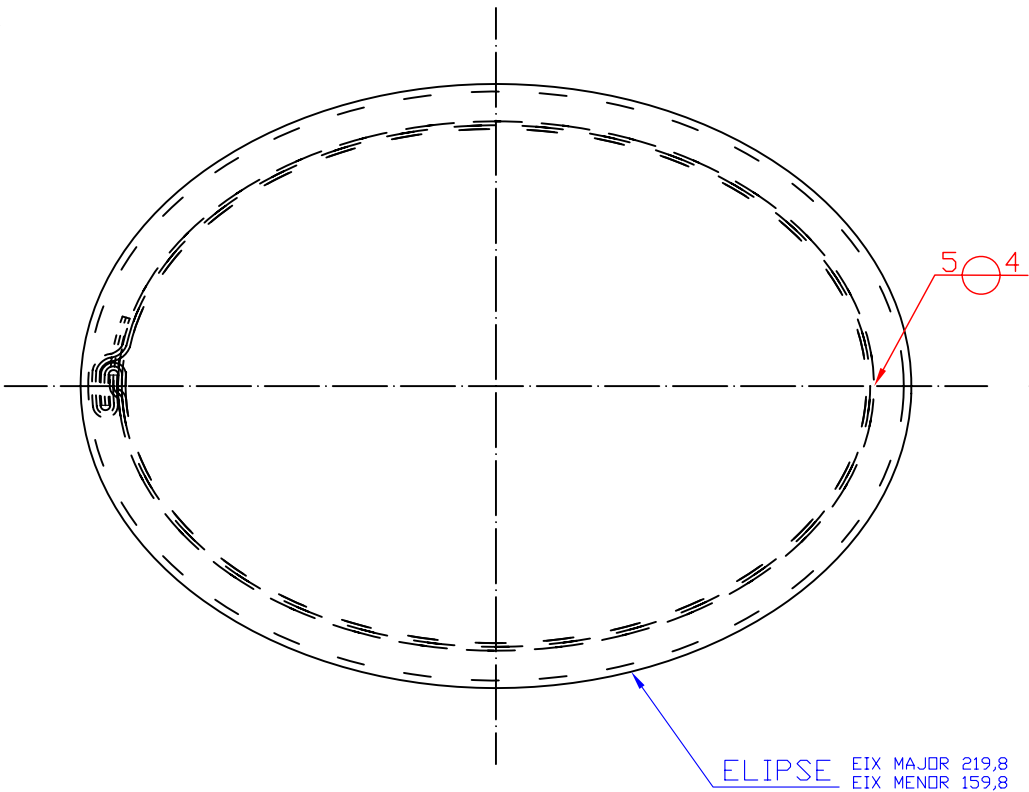
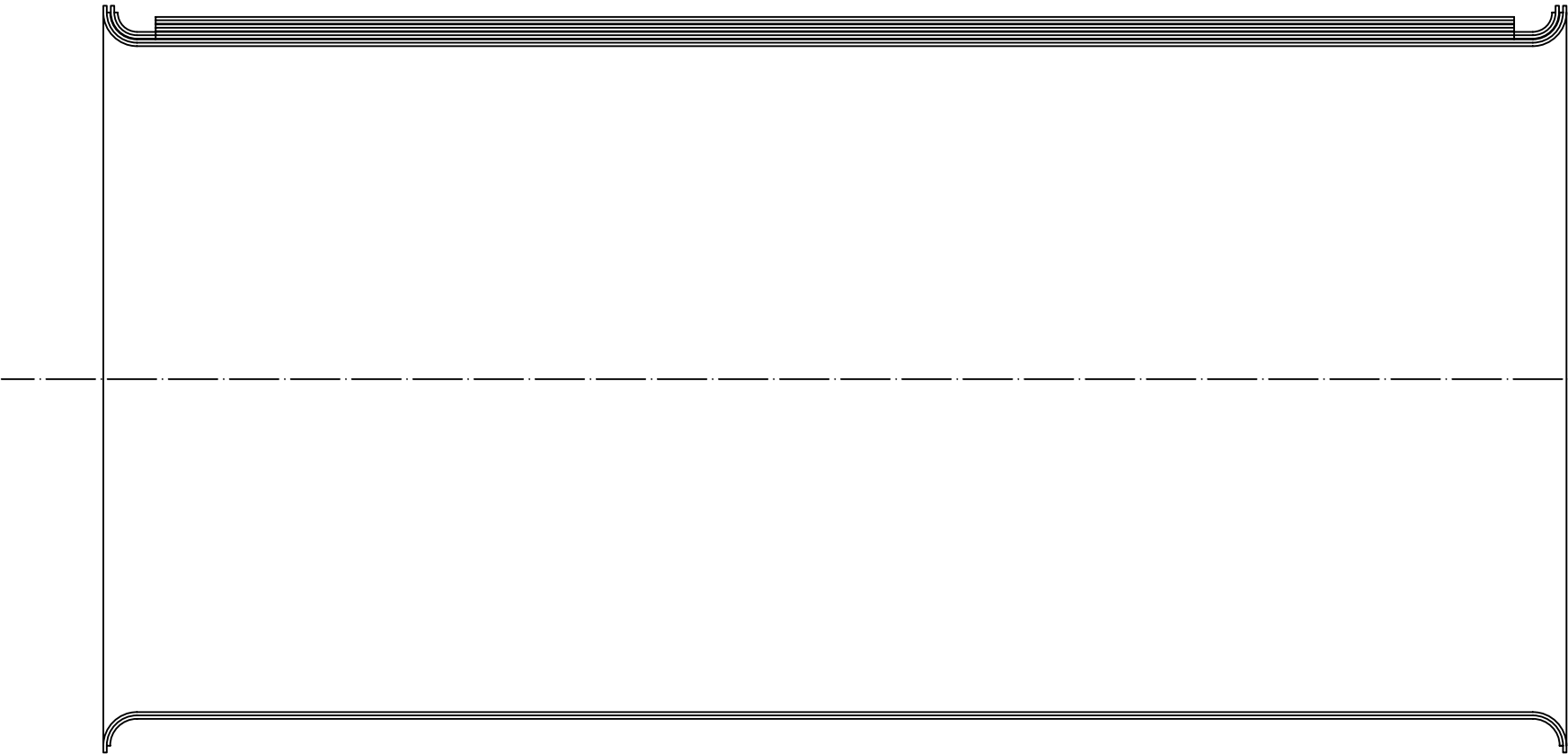
Detall E



 Universitat de Lleida	SIGNATURA:		DESCRIPCIÓ: Operació 1 de la carcassa (agrafat longitudinal)	
			REFERÈNCIA: 013021	
ESCALA: 1:2	FORMAT: A3	AUTOR: Oscar Padilla Gonzalez		Plànol 1/21
DATA: Octubre de 2006		PROJECTE: Planificació del procés de producció en sèrie d'un silenciós d'escapament per a turisme de gamma mitjana		



TALL A-B



SIGNATURA:

DESCRIPCIÓ: Operació 2 de la carcassa (plegament de preparació per l'agrafat doble amb les tapes)

REFERÈNCIA: 013021

ESCALA: 1:2

FORMAT: A3

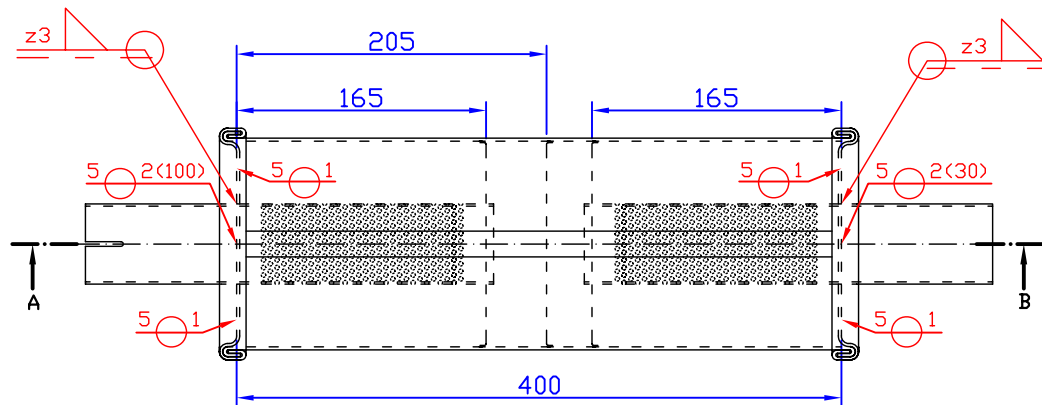
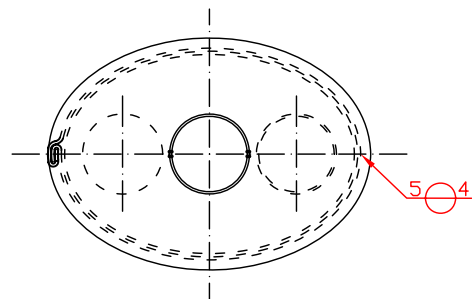
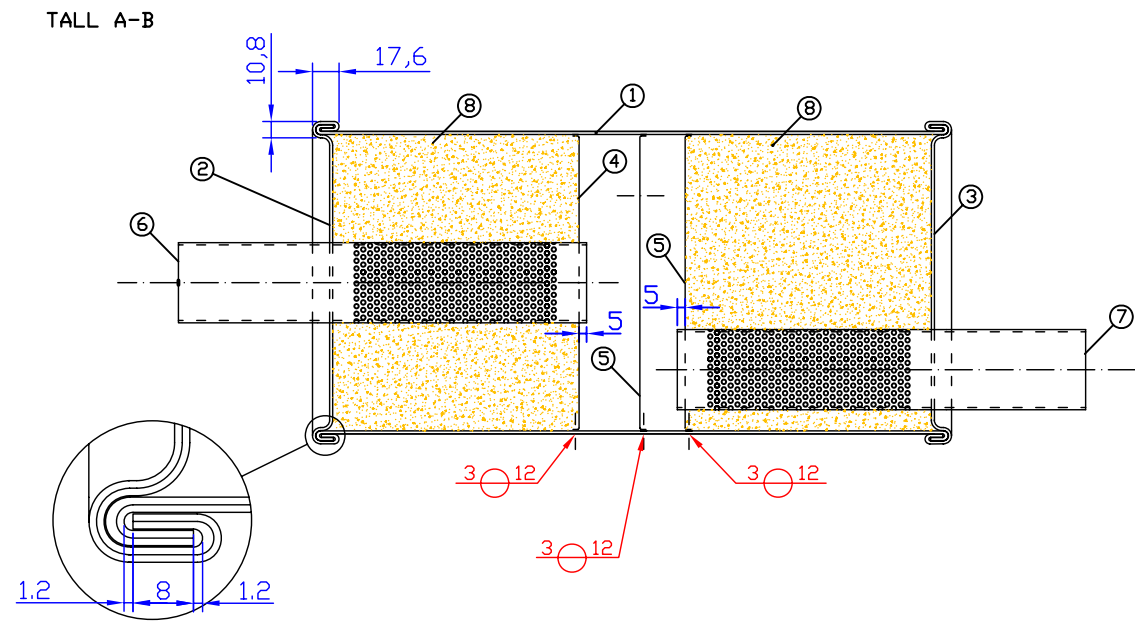
AUTOR: Oscar Padilla Gonzalez

Plànol 2/21



DATA: Octubre de 2006

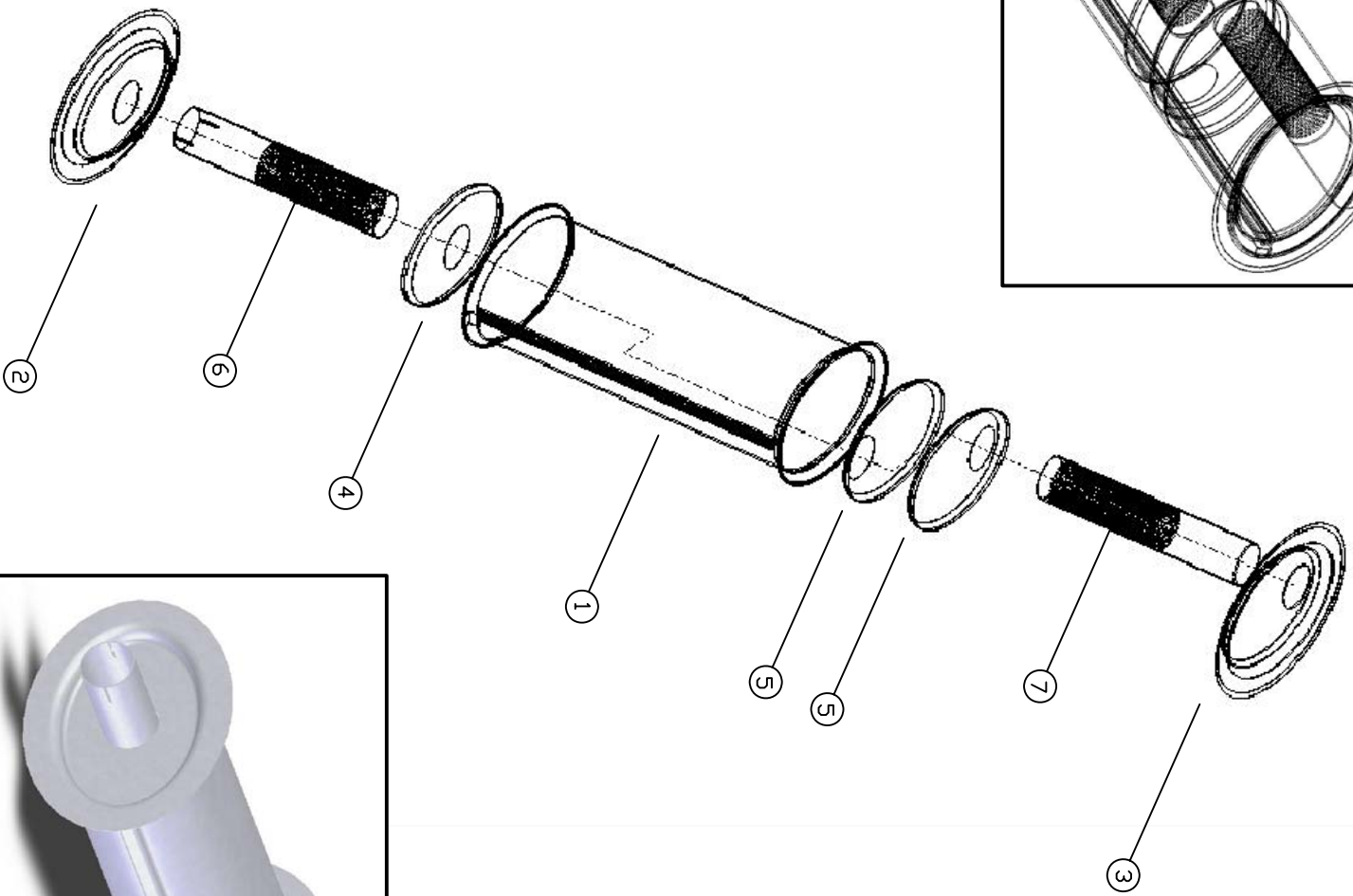
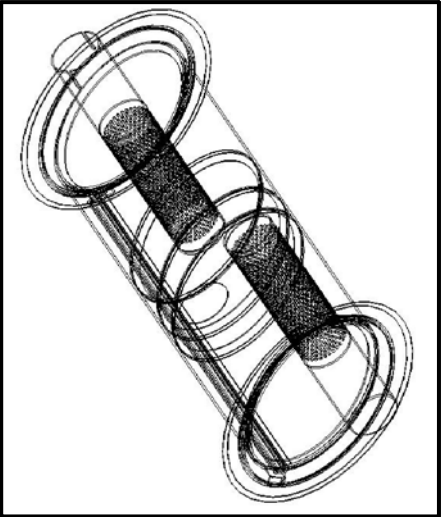


PROJECTE: Planificació del procés de producció en sèrie d'un silenciós d'escapament per a turisme de gamma mitjana



ITEM	Descripció	Material	Quantitat	Referència
1	Carcassa	Acer inoxidable AISI-304	1	013021
2	Paret exterior davantera	Acer inoxidable AISI-304	1	011021
3	Paret exterior trasera	Acer inoxidable AISI-304	1	011022
4	Paret interior 1	Acer inoxidable AISI-304	1	011011
5	Paret interior 2	Acer inoxidable AISI-304	2	011012
6	Tub d'entrada	Acer inoxidable AISI-304	1	012011
7	Tub de sortida	Acer inoxidable AISI-304	1	012012
8	Material absorbent	Llana de vidre de 34 kg/m3	2	020001

	SIGNATURA:		DESCRIPCIÓ: Silenciós en conjunt	
			REFERÈNCIA: 001001	
ESCALA: 1:5	FORMAT: A3	AUTOR: Oscar Padilla Gonzalez	Plànol 13/21	
DATA: Octubre de 2006		PROJECTE:	Planificació del procés de producció en sèrie d'un silenciós d'escapament per a un turisme de gamma mitjana	



ITEM	Descripció	Material	Quantitat	Referència
1	Carcassa	Acer inoxidable AISI-304	1	013021
2	Paret exterior davantera	Acer inoxidable AISI-304	1	011021
3	Paret exterior posterior	Acer inoxidable AISI-304	1	011022
4	Paret interior 1	Acer inoxidable AISI-304	1	011011
5	Paret interior 2	Acer inoxidable AISI-304	2	011012
6	Tub d'entrada	Acer inoxidable AISI-304	1	012011
7	Tub de sortida	Acer inoxidable AISI-304	1	012012



Universitat de Lleida

SIGNATURA:

DESCRIPCIÓ: Silencios en explosió

REFERÈNCIA: 001001

ESCALA: -      FORMAT: A4

AUTOR: Oscar Padilla Gonzalez

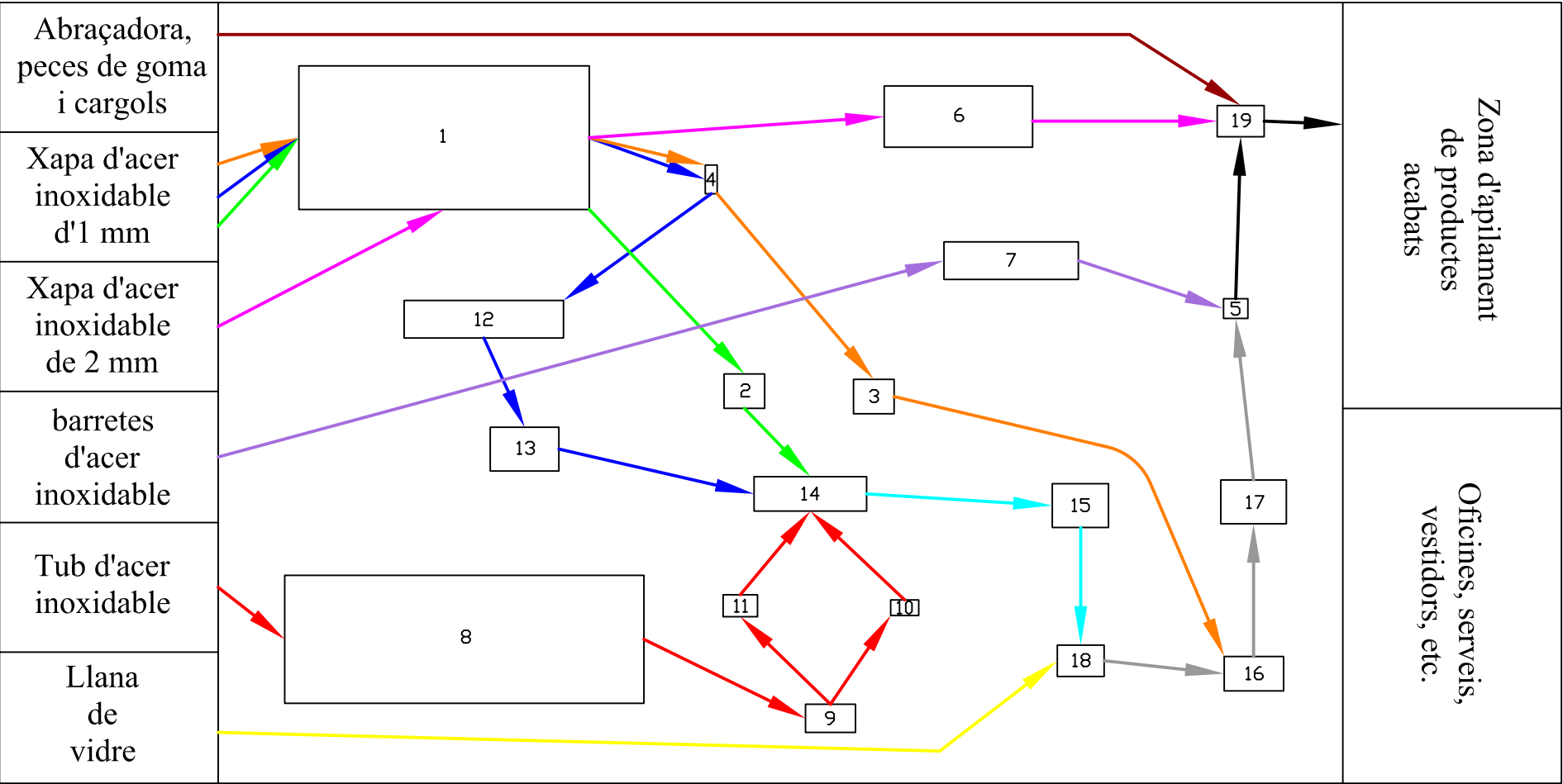
Plànol 14/21

DATA: Octubre de 2006

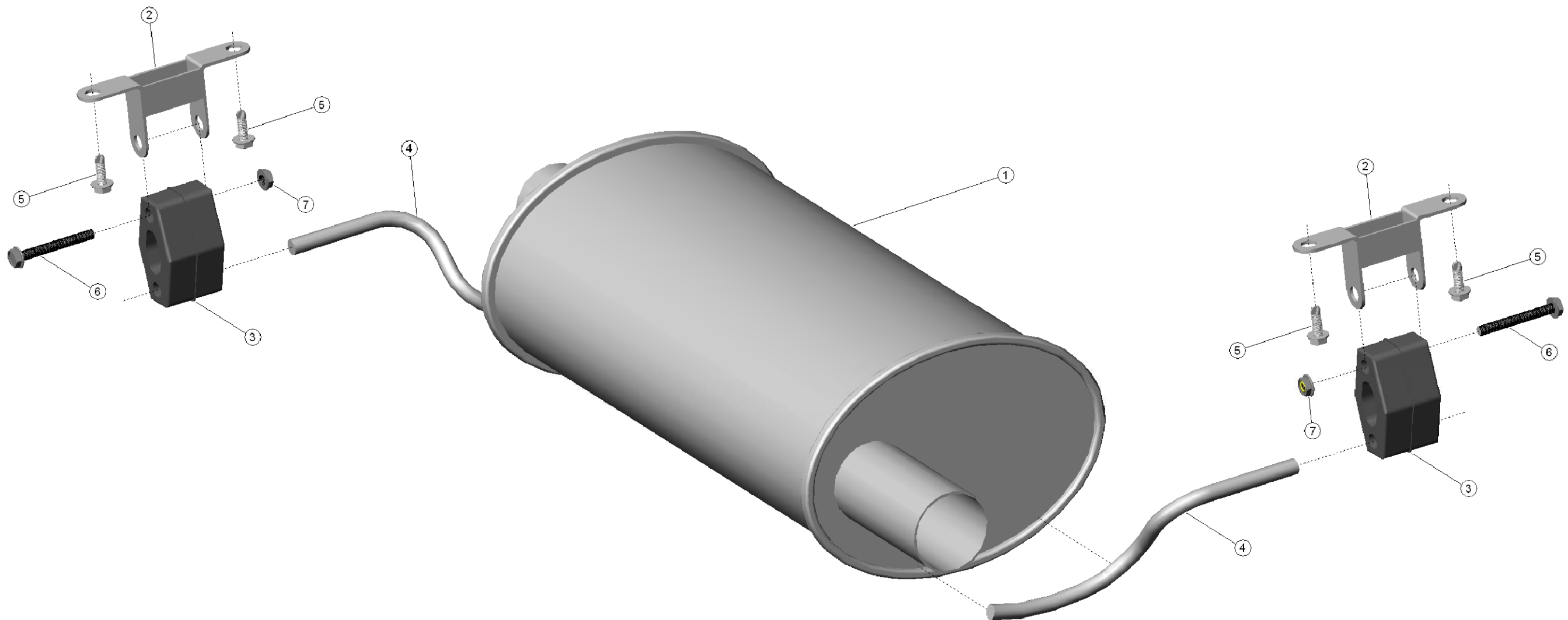




PROJECCTE:

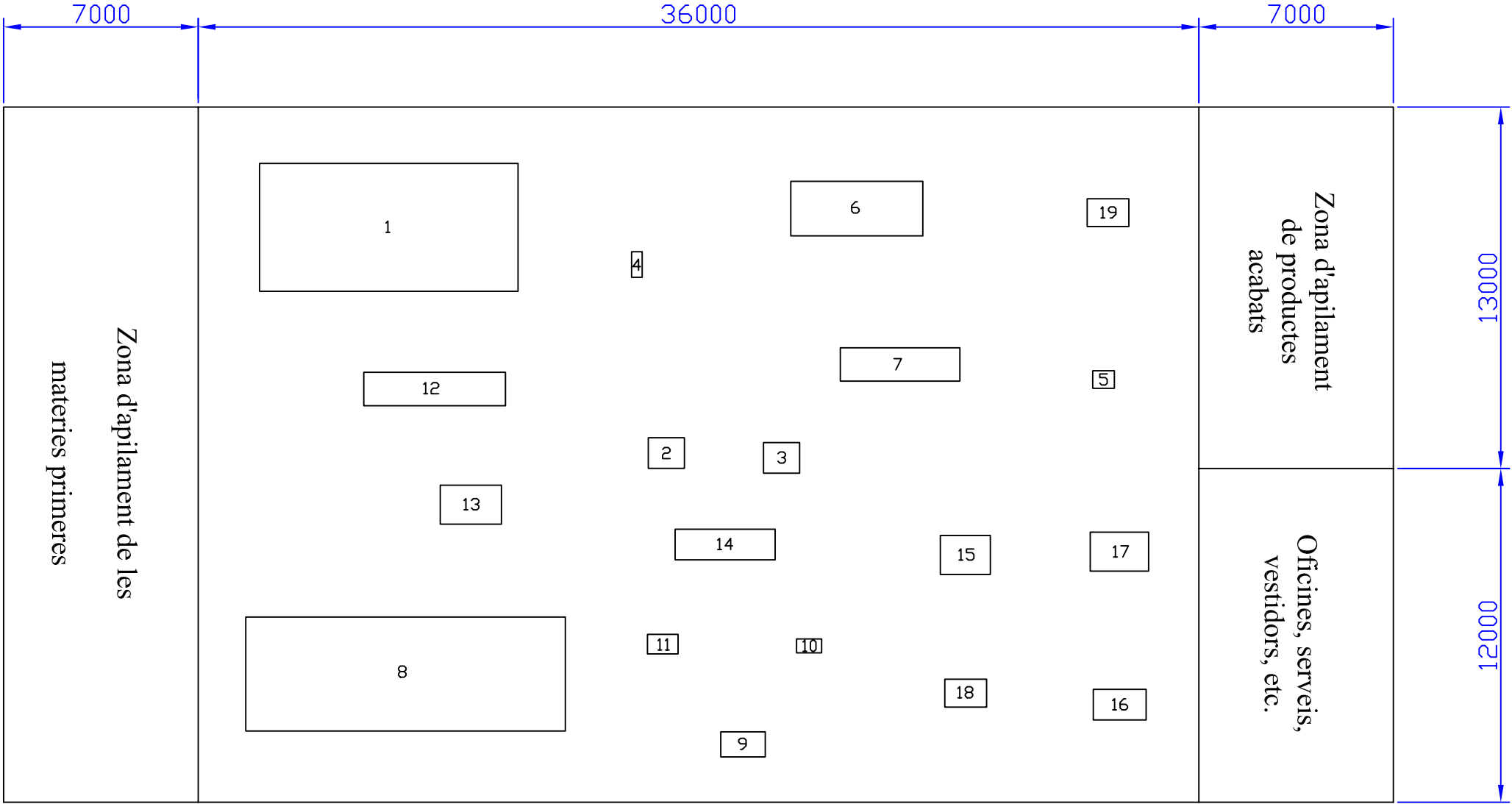
Planificació del procés de producció en sèrie d'un silencios d'escapament per a un turisme de gamma mitjana



ITEM	Descripció	ITEM	Descripció
	Fabricació de la carcassa		Conformació de les tapes
	Formació de les parets interiors		Formació de les barretes d'ancoratge
	Preparació dels tubs		Fabricació de les bases d'ancoratge
SIGNATURA:		DESCRIPCIÓ: Flux de producció dins de la fàbrica	
		REFERÈNCIA:	
ESCALA: 1:200		FORMAT: A3	AUTOR: Oscar Padilla Gonzalez
DATA: Octubre de 2006			Plànol 20/21
		PROJECTE:	Planificació del procés de producció en sèrie d'un silenciós d'escapament per a un turisme de gamma mitjana

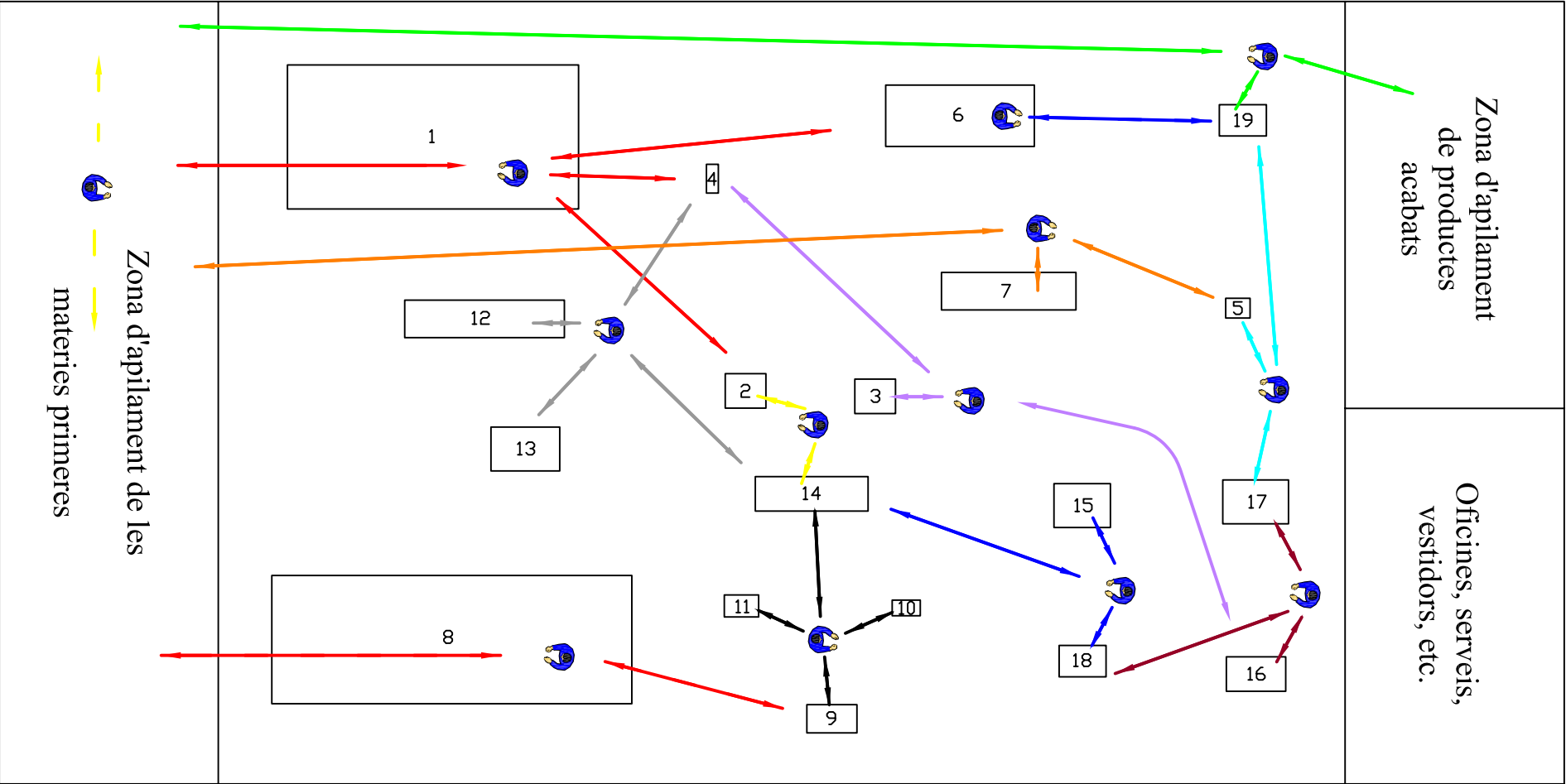


ITEM	Descripció	Material	Quantitat	Referència
1	Silenciós	Acer inoxidable AISI-304	1	001001
2	Base de subjecció	Acer inoxidable AISI-304	2	014001
3	Element intermedi d'unió	Cautxú EPDM	2	015001
4	Barreta	Acer inox. AISI-304 diàmetre 10 mm	2	016001
5	Cargol de subjecció	Autotrepant DIN 7504-K 4,8 x 16	4	017001
6	Cargol d'unió	DIN 933-4.8. M6 x 55	2	017002
7	Femella de cargol d'unió	Autoblocant DIN 985 M6 Acer inox. AISI-304	2	017012
 SIGNATURA:		DESCRIPCIÓ: Muntatge dels ancoratges		
		REFERÈNCIA:		
ESCALA: -		FORMAT: A3	AUTOR: Oscar Padilla Gonzalez	Plànol 18/21
DATA: Octubre de 2006			PROJECTE: Planificació del procés de producció en sèrie d'un silenciós d'escapament per a un turisme de gamma mitjana	




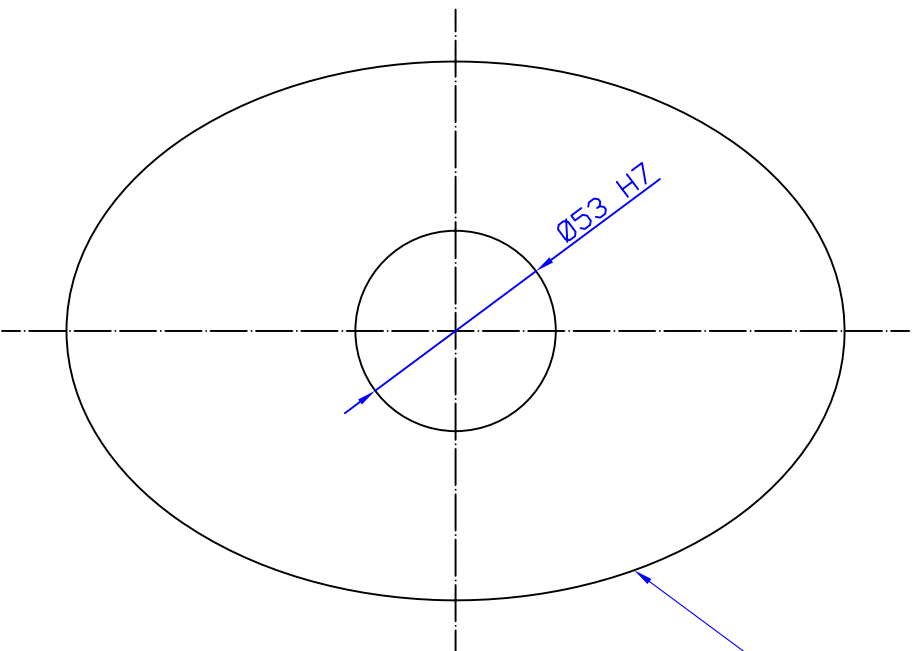
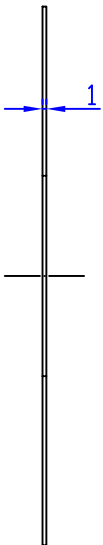
ITEM	Descripció		ITEM	Descripció	
1	Màquina de tall		11	Màquina per arrodonir tubs	
2	Prensa d'embotició 1		12	Agrafadora longitudinal	
3	Prensa d'embotició 2		13	Eixampladora d'extrems	
4	Màquina de soldadura per punts		14	Màquina de muntatge de peces interiors	
5	Soldadora TIG		15	Soldadora de parets	
6	Plegadora de xapa		16	Agrafadora doble	
7	Corbadora de barretes		17	Taula rotativa de soldadura	
8	Talladora de tubs		18	Banc d'introducció de la llana de vidre	
9	Punxonadora de tubs		19	Banc d'empaquetat	
10	Ranuradora de tubs				
 Universitat de Lleida	SIGNATURA:		DESCRIPCIÓ: Proposta de fàbrica per desenvolupar l'activitat		
			REFERÈNCIA:		
ESCALA: 1:200		FORMAT: A3	AUTOR: Oscar Padilla Gonzalez		Plànol 19/21
DATA: Octubre de 2006			PROJECTE: Planificació del procés de producció en sèrie d'un silenciós d'escapament per a un turisme de gamma mitjana		







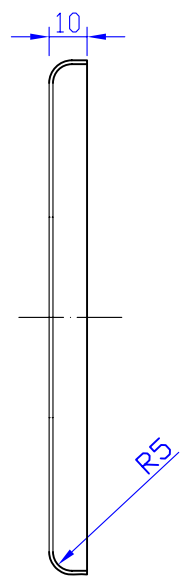
ITEM	Descripció	ITEM	Descripció	ITEM	Descripció
---	Operari 1	---	Operari 6	---	Operari 11
---	Operari 2	---	Operari 7	---	Operari 12
---	Operari 3	---	Operari 8	---	Operari 13
---	Operari 4	---	Operari 9		
---	Operari 5	---	Operari 10		

	SIGNATURA:		DESCRIPCIÓ: Moviment dels operaris dins de la fàbrica	
			REFERÈNCIA:	
ESCALA: 1:200	FORMAT: A3	AUTOR:	Oscar Padilla Gonzalez	Plànol 21/21
DATA: Octubre de 2006		PROJECTE:	Planificació del procés de producció en sèrie d'un silenciós d'escapament per a un turisme de gamma mitjana	

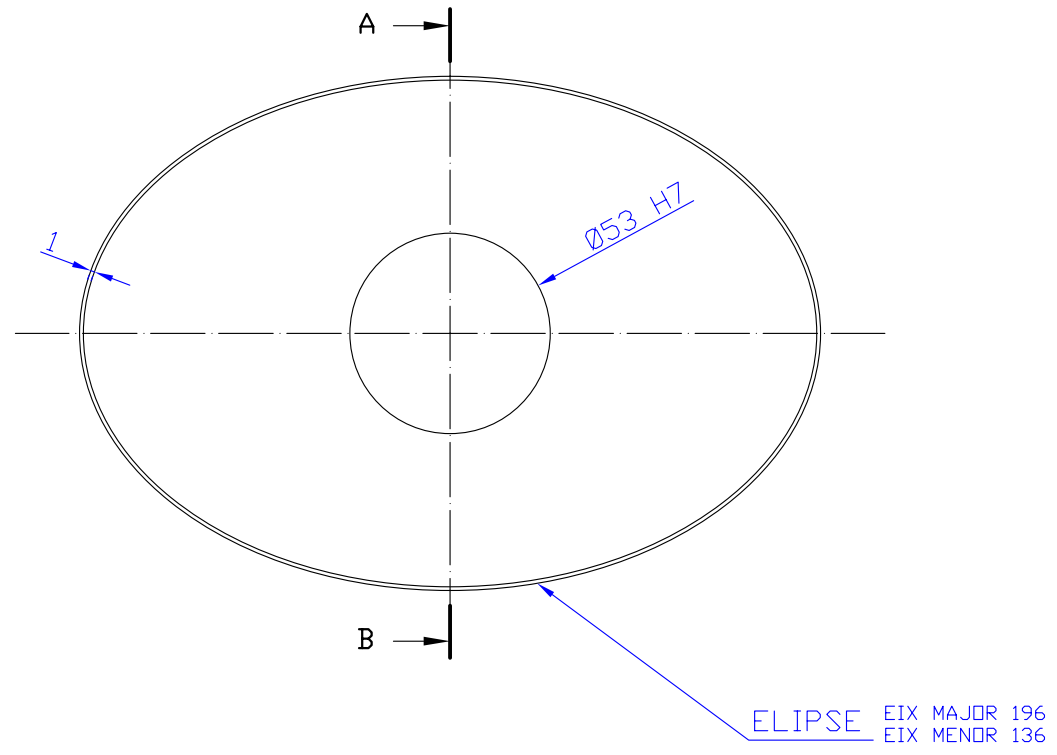
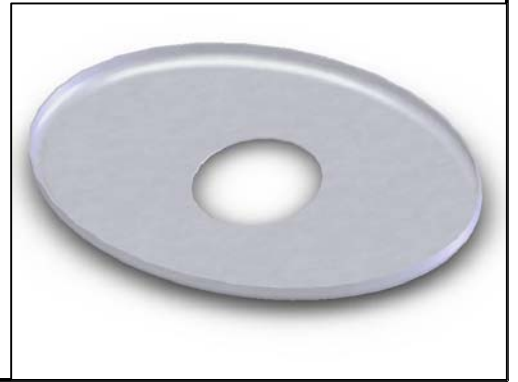


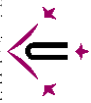

ELIPSE EIX MAJOR 205,8  
EIX MENOR 142,5

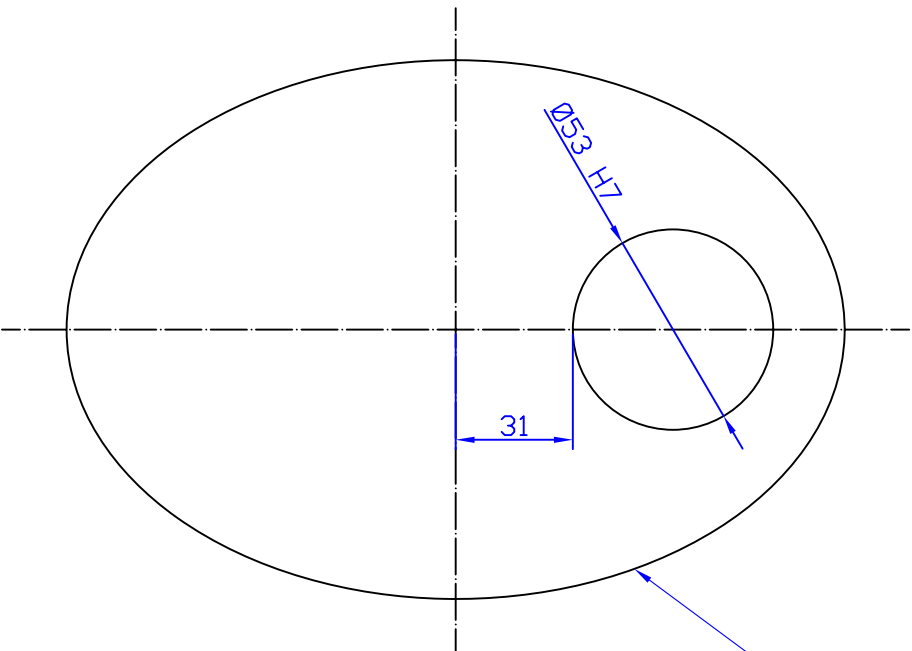
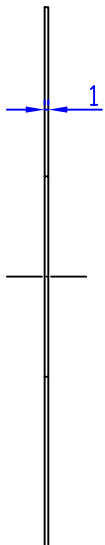
		SIGNATURA:		DESCRIPCIÓ: Paret interior 1 (geometria de tall de la xapa)		
Universitat de Lleida				REFERÈNCIA: 011011		
ESCALA: 1:2	FORMAT: A4	AUTOR: Oscar Padilla Gonzalez	Plànol 7/21			
DATA: Octubre de 2006		PROJECTE: Planificació del procés de producció en sèrie d'un silenciós d'escapament per a un turisme de gamma mitjana				





TALL A-B

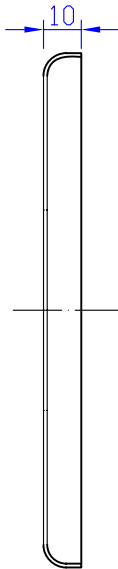


		SIGNATURA:	
ESCALA: 1:2	FORMAT: A4	DESCRIPCIÓ: Paret interior 1 (peça acabada)	
DATA: Octubre de 2006		REFERÈNCIA: 011011	
PROJECTE: Planificació del procés de producció en sèrie d'un silenciós d'escapament per a un turisme de gamma mitjana		AUTOR: Oscar Padilla Gonzalez	Plànol 8/21

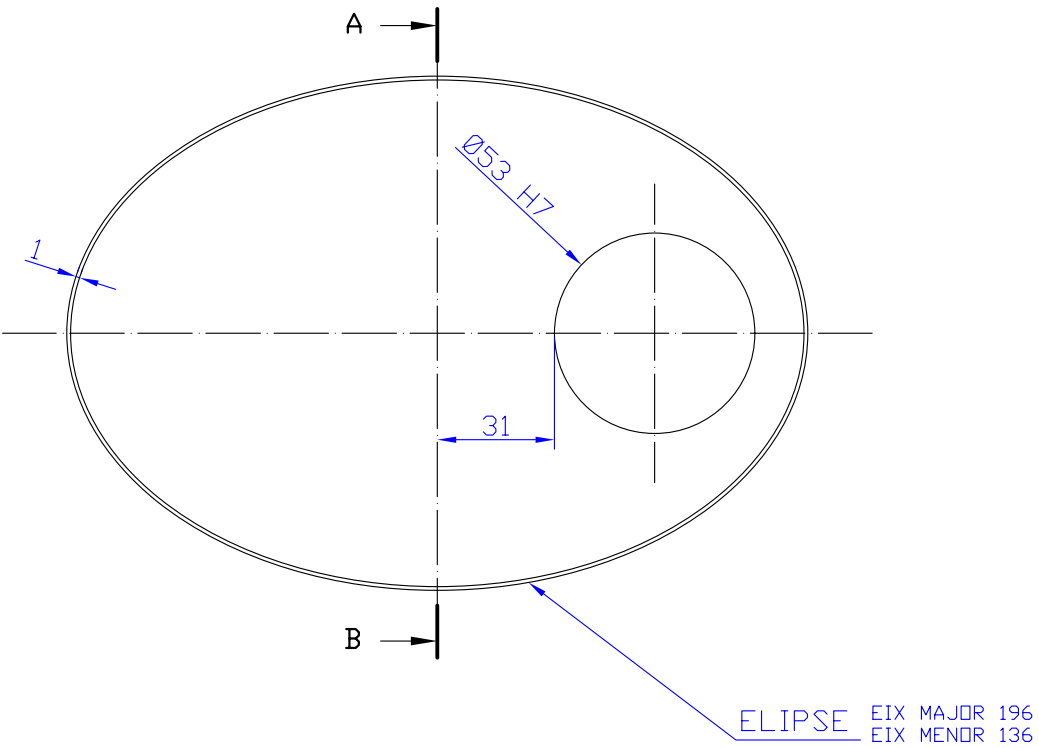




ELIPSE EIX MAJOR 205,8  
EIX MENOR 142,5

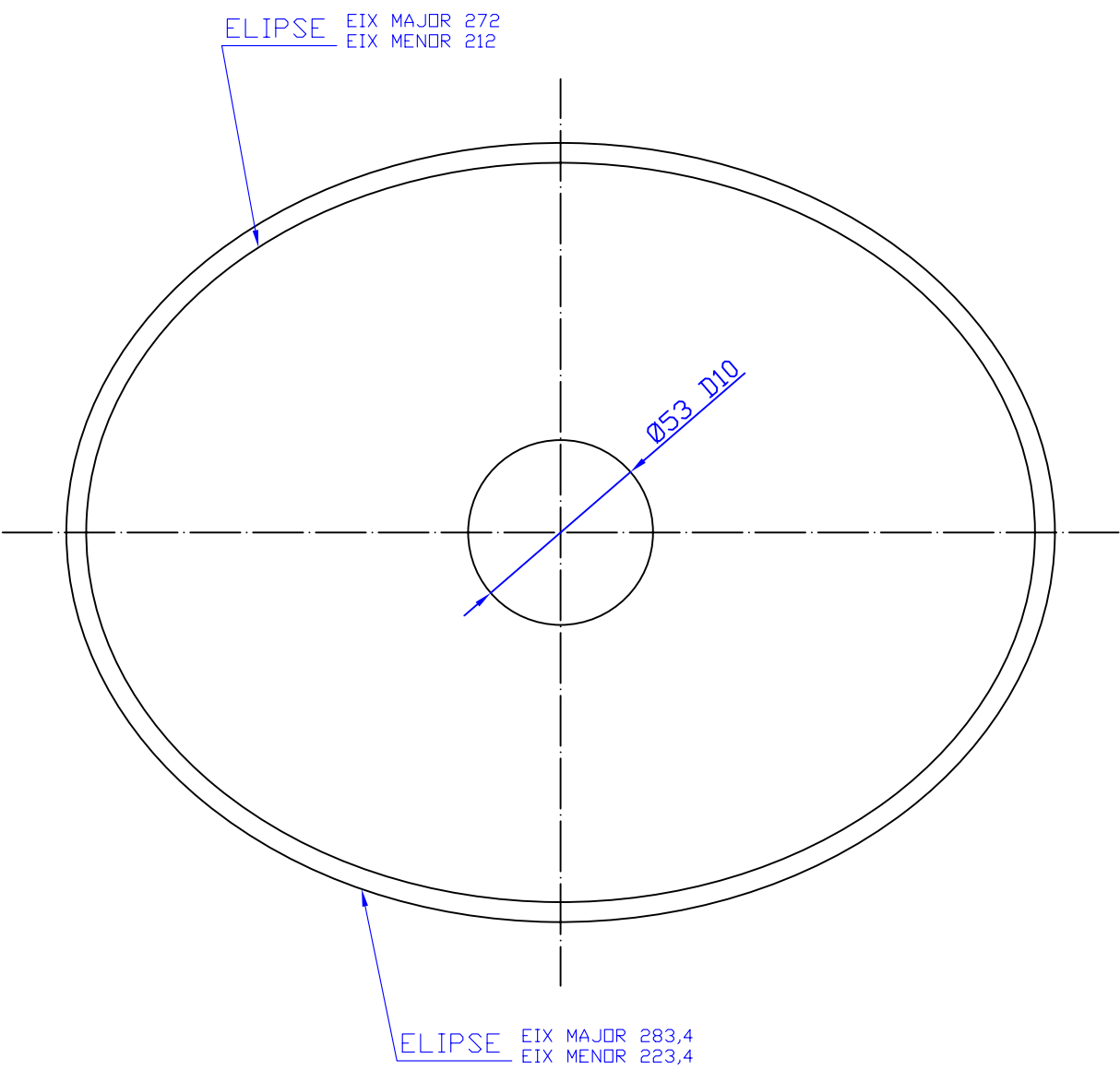
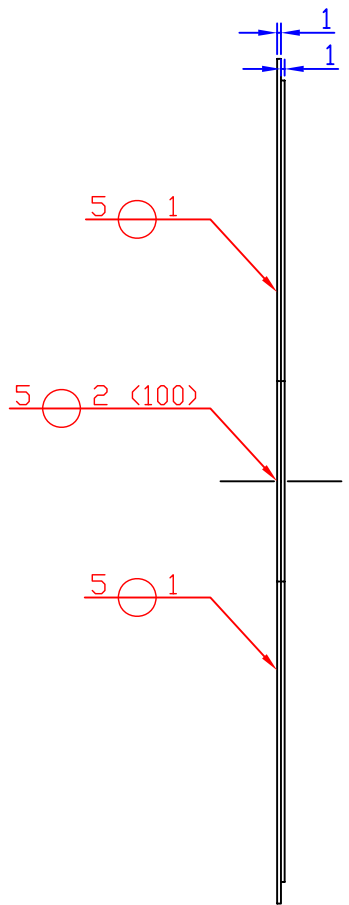
 Universitat de Lleida		SIGNATURA:	
DESCRIPCIÓ:		Paret interior 2 (geometria de tall de la xapa)	
REFERÈNCIA:		011012	
ESCALA: 1:2	FORMAT: A4	AUTOR:	Oscar Padilla Gonzalez
DATA: Octubre de 2006		PROJECTE:	Planificació del procés de producció en sèrie d'un silenciós d'escapament per a un turisme de gamma mitjana
			Plànol 9/21







TALL A-B

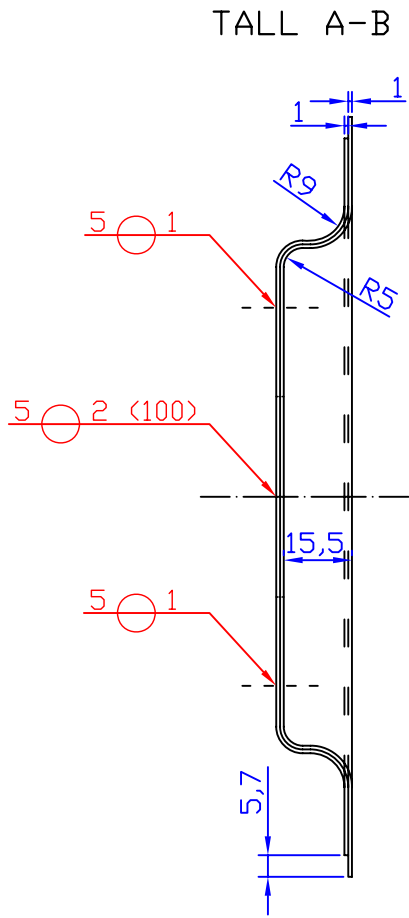
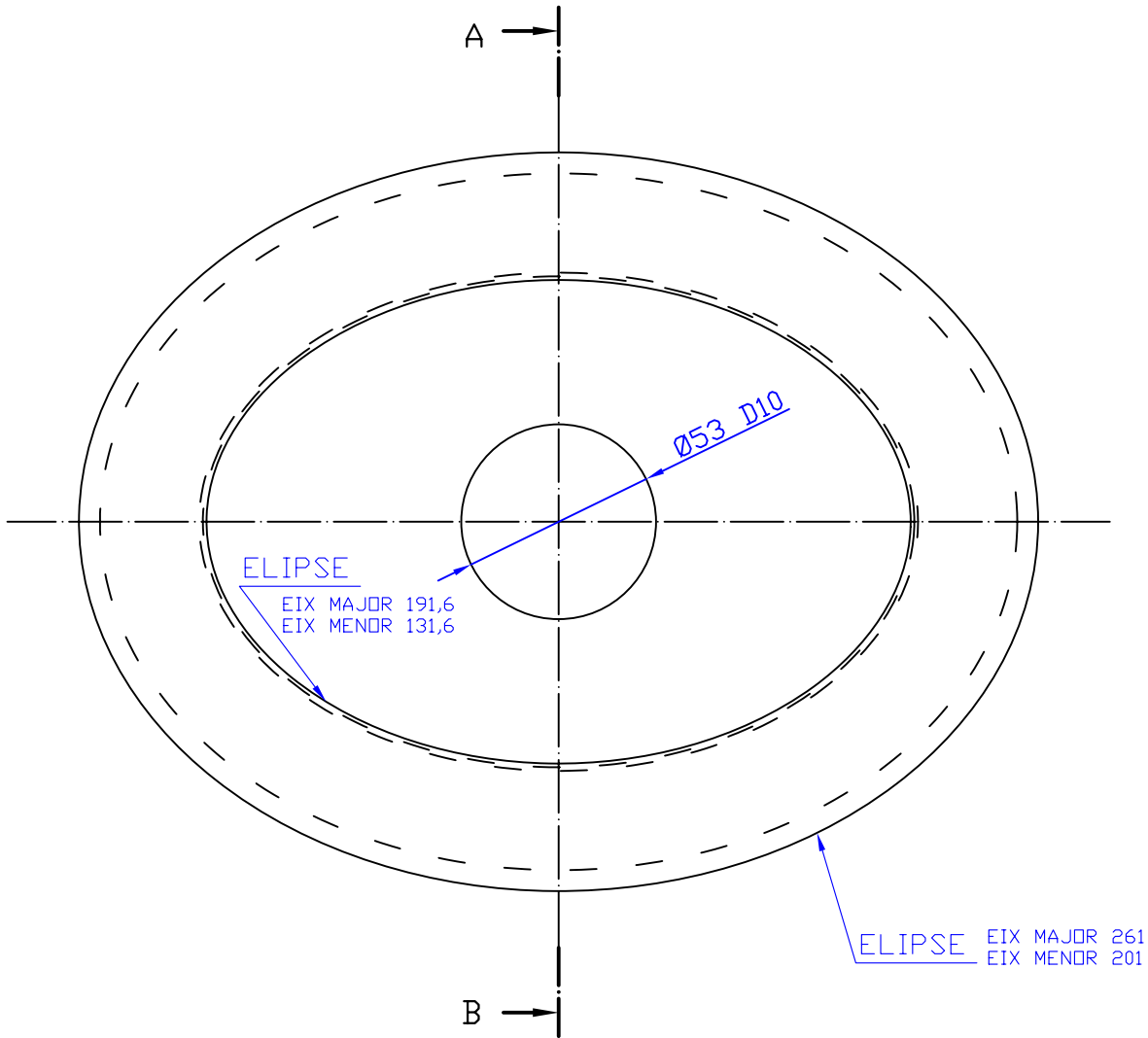


		SIGNATURA:	
DESCRIPCIÓ:		Paret interior 2 (peça acabada)	
REFERÈNCIA:		011012	
ESCALA: 1:2	FORMAT: A4	AUTOR:	Oscar Padilla Gonzalez
DATA: Octubre de 2006		PROFECTE:	Planificació del procés de producció en sèrie d'un silenciós d'escapament per a un turisme de gamma mitjana
		Plànol 10/21	

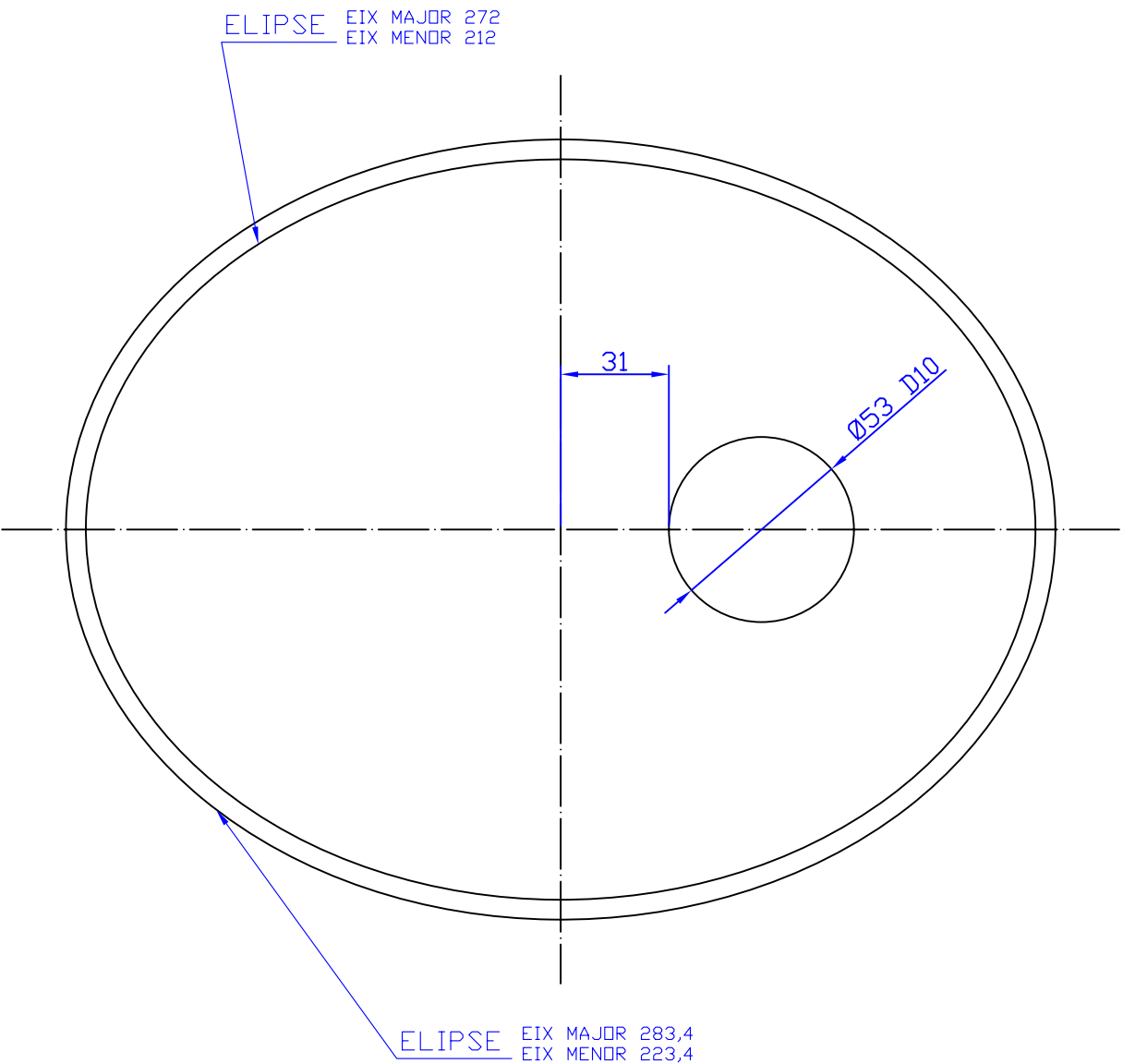
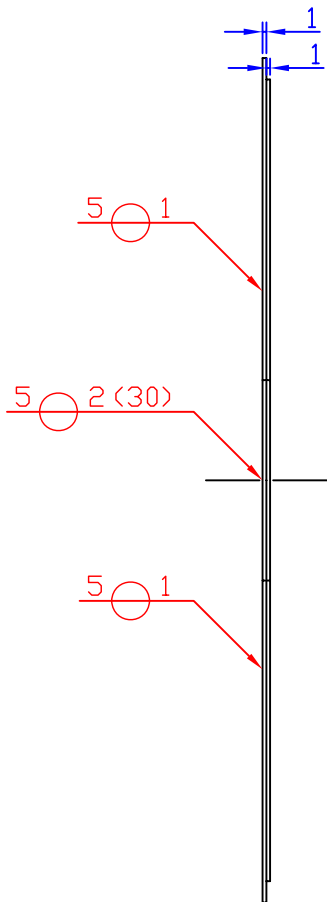




 Universitat de Lleida		SIGNATURA:			
DESCRIPCIÓ:				Tapa exterior davantera (geometria de tall)	
REFERÈNCIA:				011021	
ESCALA: 1:2	FORMAT: A4	AUTOR:	Oscar Padilla Gonzalez	Plànol 3/21	
DATA: Octubre de 2006		PROJECTE:	Planificació del procés de producció en sèrie d'un silenciós d'escapament per a un turisme de gamma mitjana		

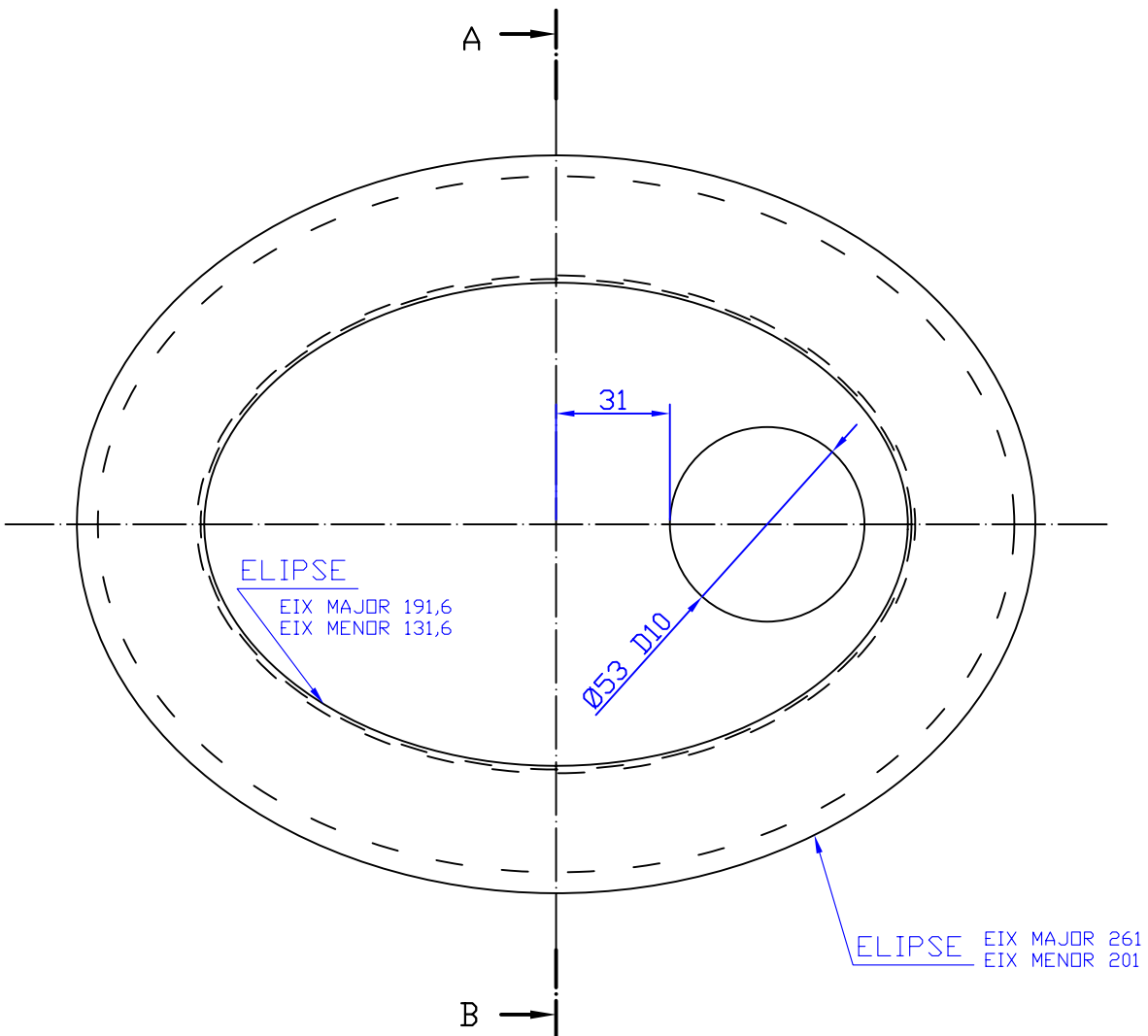
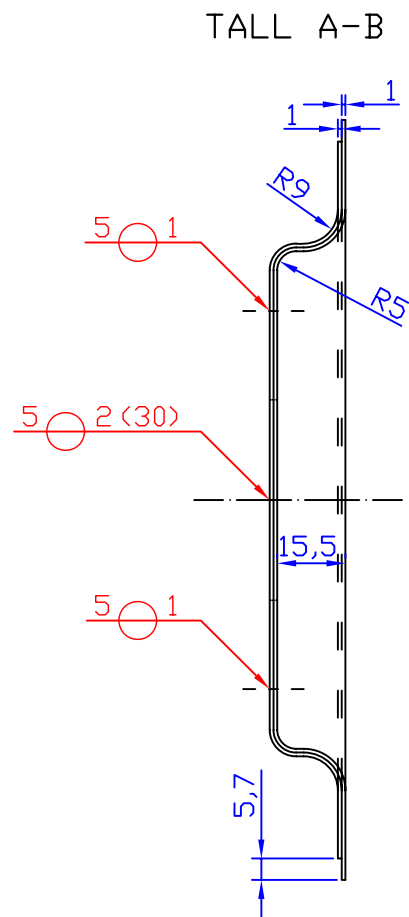
		SIGNATURA:	
ESCALA: 1:2	FORMAT: A4	DESCRIPCIÓ: Tapa exterior davantera (operació prèvia a l'agrafà)	
DATA: Octubre de 2006		REFERÈNCIA: 011021	
PROJECTE:		AUTOR: Oscar Padilla Gonzalez	Plànol 4/21
Planificació del procés de producció en sèrie d'un silenciós d'escapament per a un turisme de gamma mitjana			







 Universitat de Lleida		SIGNATURA:	
ESCALA: 1:2	FORMAT: A4	AUTOR:	DESCRIPCIÓ: Tapa exterior posterior (geometria de tall)
DATA: Octubre de 2006		REFERÈNCIA: 011022	
PROJECTE:	AUTOR: Oscar Padilla Gonzalez		
	Planimetria del procés de producció en sèrie d'un silenciador d'escapament per a un turisme de gamma mitjana		
			Plànol 5/21



SIGNATURA:

DESCRIPCIÓ: Tapa exterior posterior (operació prèvia a l'agrafat)

REFERÈNCIA: 011022

ESCALA: 1:2

FORMAT: A4

AUTOR:

Oscar Padilla Gonzalez

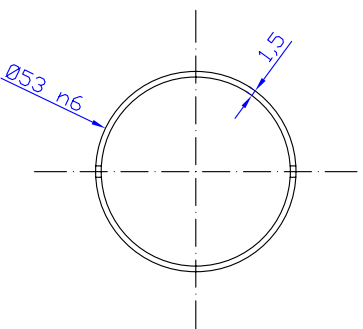
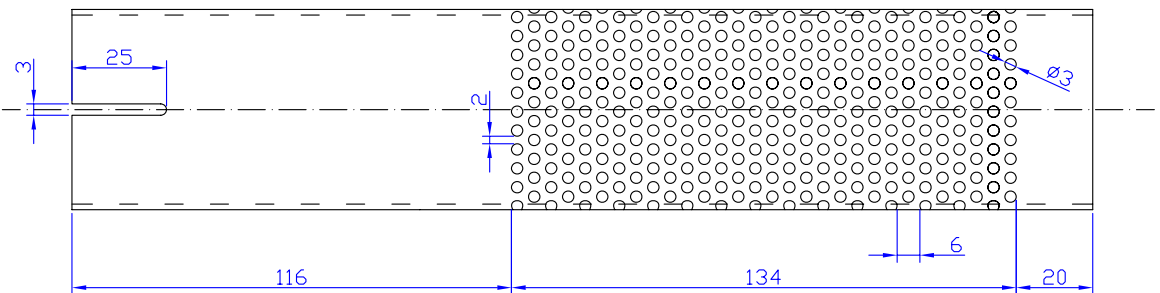
Plànol 6/21



DATA: Octubre de 2006

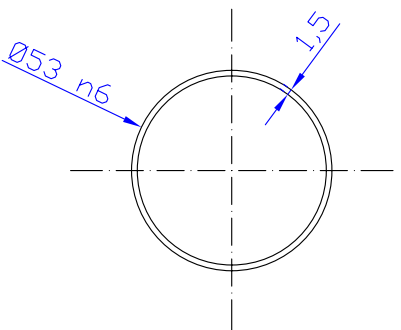
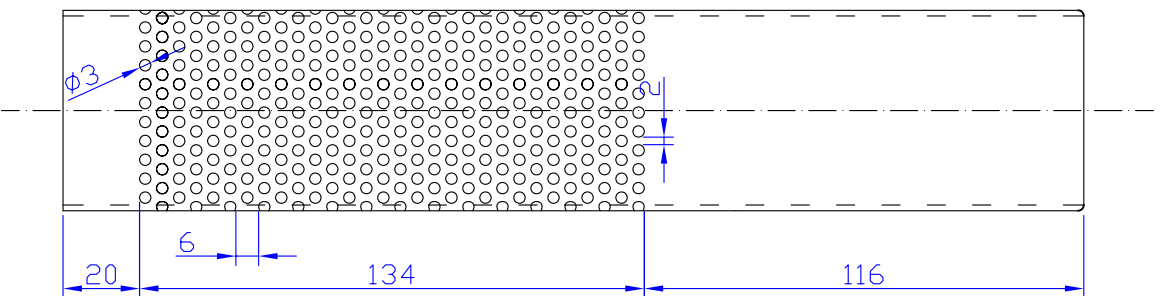




PROFECTE:

Planificació del procés de producció en sèrie d'un silenciós d'escapament per a un turisme de gamma mitjana



 Universitat de Lleida		SIGNATURA:		DESCRIPCIÓ: Tub d'entrada	
ESCALA: 1:2	FORMAT: A4	REFERÈNCIA: 012011		AUTOR: Oscar Padilla Gonzalez	Plànol 11/21
DATA: Octubre de 2006		PROJECCTE: Planificació del procés de producció en sèrie d'un silenciós d'escapament per a un turisme de gamma mitjana			



		SIGNATURA:		DESCRIPCIÓ: Tub de sortida	
ESCALA: 1:2		FORMAT: A4		REFERÈNCIA: 012012	
DATA: Octubre de 2006				AUTOR: Oscar Padilla Gonzalez	
				PROJECTE: Planificació del procés de producció en sèrie d'un silenciós d'escapament per a un turisme de gamma mitjana	
				Plànol 12/21	

# **PLEC DE CONDICIONS**



# ÍNDIX DEL PLEC DE CONDICIONS

<b>1 CONDICIONS DELS MATERIALS.....</b>	<b>433</b>
<b>1.1 Elements constructius.....</b>	<b>433</b>
<b>1.2 Especificacions dels materials.....</b>	<b>434</b>
1.2.1 Qualitats.....	434
1.2.2 Quantitats.....	434
<b>2 NORMATIVA APLICABLE.....</b>	<b>435</b>
<b>3 PLEC DE CONDICIONS DE LA FASE DE MATERIALITZACIÓ.....</b>	<b>438</b>
<b>3.1 Fabricació de les peces.....</b>	<b>438</b>
<b>3.2 Muntatge de les peces i elements del Silenciós.....</b>	<b>438</b>
<b>3.3 Instal·lació del silenciós al vehicle.....</b>	<b>438</b>





# 1 CONDICIONS DELS MATERIALS

## 1.1 Elements constructius

El silenciós estarà format pels següents elements:

Referència	Descripció	Material	Quantitat
013021	Carcassa	Acer inoxidable	1
011021	Tapa exterior davantera	Acer inoxidable	1
011022	Tapa exterior posterior	Acer inoxidable	1
011011	Paret interior nº 1	Acer inoxidable	1
011012	Paret interior nº 2	Acer inoxidable	2
012011	Tub d'entrada	Acer inoxidable	1
012012	Tub de sortida	Acer inoxidable	1
020001	Material absorbent	Llana de vidre	2

*Taula 1.1 Elements constructius que formen el silenciós*

Els elements necessaris per a la subjecció del silenciós al vehicle i per al seu acoblament al tub d'escapament seran els següents:

Referència	Descripció	Material	Quantitat
018001	Abraçadora	Acer inoxidable	1
014001	Base de subjecció	Acer inoxidable	2
015001	Element intermedi d'unió	Goma	2
016001	Barreta	Acer inoxidable	2
017001	Cargol de subjecció	Acer zincat	4
017002	Cargol d'unió	Acer zincat	2
017012	Femella de cargol d'unió	Acer inoxidable	2

*Taula 1.2 Elements de subjecció i acoblament al vehicle*

La forma i les mesures dels elements estan indicades al plànol corresponent a cadascun d'ells.

## 1.2 Especificacions dels materials

### 1.2.1 Qualitats

L'acer inoxidable serà de tipus AISI-304, segons *American Iron and Steel Institute* o de tipus X 6 Cr Ni 19-10, segons Norma *UNE-EN 10.027-1*.

El material absorbent per al recobriment de la part dels tubs que es troba a l'interior de la carcassa o cos del silenciós, serà llana de vidre de  $34 \text{ kg/m}^3$ .

La goma amb la que hauran d'estar fabricats els elements d'unió (*ref. 015001*), haurà de ser cautxú de tipus EPDM.

### 1.2.2 Quantitats

Per fabricar la carcassa (*ref. 013021*) seran necessàries dues xapes laminades en fred d'1 mm de gruix de les següents mides: 437,6 x 576,6 mm, per a la capa externa de la carcassa; i 445,7 x 571,4 mm per a la cap interna.

Les parets estaran fabricades a partir de xapa laminada en fred d'1 mm de gruix en forma ovalada. Les mides seran les següents:

- Per a les parets exteriors (*ref. 011021 i 011022*): dues xapes, una d'eix major 272 mm i eix menor 212 mm per a la capa interna; i una altra d'eix major 283,4 mm i eix menor 223,4 mm per a la cap externa.
- Per a les parets interiors (*ref. 011011 i 011012*): una xapa de 209,3 mm d'eix major i 149,3 mm d'eix menor.

Els tubs del silenciós (*ref. 012011 i 012012*) s'obtindran a partir de tub rodó de 53 mm de diàmetre exterior i 50 mm de diàmetre interior.

El format a utilitzar per a la llana de vidre (*ref. 020001*) per revestir els tubs del silenciós serà el feltre, en concret *manta compacta de llana vidre de  $34 \text{ kg/m}^3$  i 50 mm de gruix*; encara que si el fabricant ho prefereix, pot utilitzar borra, sempre que s'asseguri una densitat mínima de farciment de les cambres de  $34 \text{ kg/m}^3$ .

L'abraçadora (*ref. 018001*) a utilitzar en l'acoblament del tub d'escapament amb el tub d'entrada del silenciós serà sens-fi de 40-60 mm de diàmetre.

La base de subjecció (*ref. 014001*) es fabricarà a partir de xapa laminada de 2 mm de gruix.

La barreta (*ref. 016001*) s'obtindrà a partir de barra massissa de secció circular de 10 mm de diàmetre. La longitud a utilitzar serà la necessària per poder unir el cos del silenciós a l'element intermedi d'unió.

Els cargols de subjecció (*ref. 017001*) seran de rosca xapa autotrepants DIN 7504-K, de mesura 4,8 x 16 mm.

Els cargols d'unió (*ref. 017002*) seran de rosca mètrica DIN 933-4.8. de mesures 6 x 55 mm.

Les femelles per als cargols d'unió (*ref. 017012*) seran autoblocants DIN 985 de rosca mètrica de 6 mm.

Els catàlegs de tot aquest material a utilitzar es poden consultar a l'Annex de Catàlegs.

## 2 NORMATIVA APLICABLE

El disseny complirà amb la *Directiva 70/157/CEE, relativa a l'aproximació de les legislacions dels Estats membres sobre el nivell sonor admissible i el dispositiu d'escapament dels vehicles de motor.*

La part de la normativa que afecta al nostre disseny es troba a l'apartat 4.1 de la Memòria.

Totes les màquines i equips que s'instal·lin a la fàbrica de producció del producte compliran les següents normatives de seguretat:

**UNE-EN 1050:1997** Seguretat de les màquines. Principis per a l'avaluació del risc.

**UNE-EN 414:2001** Seguretat de les màquines. Regles per al disseny i presentació de les normes de seguretat.

**UNE-EN 1746:1999** Seguretat de les màquines. Guia per a la redacció dels capítols sobre soroll de les normes de seguretat.

**UNE-EN 954-1:1997** Seguretat de les màquines. Parts dels sistemes de comandament relatives a la seguretat. Part 1: Principis generals per al disseny.

**UNE-EN 574:1997** Seguretat de les màquines. Dispositius de comandament a dues mans. Aspectes funcionals. Principis per al disseny.

**UNE-EN 418:1993** Seguretat de les màquines. Equip de desocupada d'emergència, aspectes funcionals. Principis per al disseny.

**UNE-EN 999:1999** Seguretat de les màquines. Posicionament dels dispositius de protecció en funció de la velocitat d'aproximació de parts del cos humà.

**UNE-EN 547-1:1997** Seguretat de les màquines. Mesures del cos humà. Part 1: Principis per a la determinació de les dimensions requerides per al pas de tot el cos en les màquines.

**UNE-EN 547-2:1997** Seguretat de les màquines. Mesures del cos humà. Part 2: Principis per a la determinació de les dimensions requerides per a les obertures d'accés.

**UNE-EN 547-3:1997** Seguretat de les màquines. Mesures del cos humà. Part 3: Dades antropomètriques.

**UNE-EN 349:1994** Seguretat de les màquines. Distàncies mínimes per a evitar l'aixafada de parts del cos humà.

**UNE-EN 294:1993** Seguretat de les màquines. Distàncies de seguretat per a impedir que s'arribin a zones de perillositat amb els membres superiors.

**UNE-EN 811:1997** Seguretat de les màquines. Distàncies de seguretat per a impedir que s'arribin a zones perilloses amb els membres inferiors.

**UNE-EN 842:1997** Seguretat de les màquines. Senyals visuals de perill. Requisits generals, disseny i assajos.

**UNE-EN 981:1997** Seguretat de les màquines. Sistemes de senyals de perill i d'informació auditives i visuals.

**UNE-EN 1837:1999** Seguretat de les màquines. Enllumenat integral de les màquines.

**UNE-EN 953:1998** Seguretat de les màquines. Resguards. Requisits generals per al disseny i construcció de resguards fixos i mòbils.

**UNE-EN 1088:1996** Seguretat de les màquines. Dispositius d'enclavament associats a resguards. Principis per al disseny i selecció.

**UNE-EN 1760-1:1998** Seguretat de les màquines. Dispositius de protecció sensibles a la pressió. Part 1: Principis generals per al disseny i assaig de catifes i sòls sensibles a la pressió.

**UNE-EN 1760-2:2001** Seguretat de les màquines. Dispositius de protecció sensibles a la pressió. Part 2: Principis generals per al disseny i assaig de vores i barres sensibles a la pressió.

**UNE-EN 1760-3:2005** Seguretat de les màquines. Dispositius de protecció sensibles a la pressió. Part 3: Principis generals per al disseny i assaig de paraxocs, plaques, cables i dispositius similars sensibles a la pressió.

**UNE-EN 61496-1:2004** Seguretat de les màquines. Equips de protecció electrosensibles. Part 1: Requisits generals i assajos.

**UNE-EN 894-1:1997** Seguretat de les màquines. Requisits ergonòmics per al disseny de dispositius d'informació i comandaments. Part 1: Principis generals de la interacció entre l'home i els dispositius d'informació i comandaments.

**UNE-EN 894-2:1997** Seguretat de les màquines. Requisits ergonòmics per al disseny de dispositius d'informació i òrgans d'accionament. Part 2: Dispositius d'informació.

**UNE-EN 563:1996** Seguretat de les màquines. Temperatures de les superfícies accessibles. Dades ergonòmiques per a establir els valors de les temperatures límits de les superfícies calentes.

**UNE-EN 614-1:2006** Seguretat de les màquines. Principis de disseny ergonòmic. Part 1: Terminologia i principis generals.

**UNE-EN 614-2:2001** Seguretat de les màquines. Principis de disseny ergonòmic. Part 2: Interaccions entre el disseny de les màquines i les tasques de treball.

**CEI 61310-1:1995** Seguretat de les màquines. Indicació, marcat i maniobra. Part 1: Especificacions per als senyals visuals, audibles i tàctils.

**CEI 61310-2:1995** Seguretat de les màquines. Indicació, marcat i maniobra. Part 2: Especificacions per al marcat.

**CEI 61310-3:1999** Seguretat de les màquines. Indicació, marcat i maniobra. Part 3: Requisits per a la ubicació i el funcionament dels òrgans d'accionament.

**UNE-EN 626-1:1995** Seguretat de les màquines. Reducció de riscos per a la salut a causa de substàncies perilloses emeses per les màquines. Part 1: Principis i especificacions per als fabricants de maquinària.

**UNE-EN 626-2:1997** Seguretat de les màquines. Reducció de riscos per a la salut a causa de substàncies perilloses emeses per les màquines. Part 2: Metodologia per a especificar els procediments de verificació.

**UNE-CR/ 1030-1:1997** Vibracions rajo-braç. Directrius per a la reducció dels riscos per vibracions. Part 1: Mètodes d'enginyeria per al disseny de màquines.

**UNE-EN 1299:1997** Vibracions i xocs mecànics. Aïllament de les vibracions de les màquines. Informació per a l'aplicació de l'aïllament en la font.

**UNE-EN 12096:1998** Vibracions mecàniques. Declaració i verificació dels valors d'emissió vibratòria.

**UNE-EN 982:1996** Seguretat de les màquines. Requisits de seguretat per a sistemes i components per a transmissions hidràuliques i pneumàtiques. Hidràulica.

**UNE-EN 983:1996** Seguretat de les màquines. Requisits de seguretat per a sistemes i components per a transmissions hidràuliques i pneumàtiques. Pneumàtica.

## **3 PLEC DE CONDICIONS DE LA FASE DE MATERIALITZACIÓ**

### **3.1 Fabricació de les peces**

Els processos de fabricació de les diferents peces a produir, hauran de ser els més addients i eficaços per tal d'aconseguir les peces descrites als plànols. Aquests processos a més, no han de repercutir en una disminució en les propietats físiques dels materials utilitzats.

### **3.2 Muntatge de les peces i elements del silenciós**

Les diferents peces i elements que integren el silenciós es muntaran d'acord amb les mesures que s'indiquen en el plànol nº 13 *Silenciós en conjunt*.

Totes les unions entre els diferents elements del silenciós han d'assegurar l'estanquitat al flux dels gasos d'escapament.

Aquestes unions han de poder suportar les temperatures de funcionament a les que està sotmès el dispositiu.

Totes les unions, tant les que pertanyen a peces del silenciós com a les d'elements de subjecció o acoblament, hauran de ser capaces de suportar les vibracions originades pel sistema.

Les unions entre els tubs i les dues tapes exteriors que atravessen es realitzaran mitjançant soldadura per arc revestit. El cordó de soldadura es realitzarà al llarg de tot el perímetre del tub. Les posicions on s'han de realitzar aquestes soldadures estan indicades al plànol nº 13 *Silenciós en conjunt*. El material d'aportació per a aquestes soldadures serà elèctrode tipus E 308, segons AWS A5.4.

La unió entre les parets interior i la carcassa es realitzarà mitjançant soldadura per punts al llarg del perímetre de la paret.

La llana es col·locarà omplint l'espai lliure entre l'exterior del tub i la cara interior de la carcassa i de manera que no quedi cap espai buit.

La llana absorbent estarà instal·lada de tal manera que no permeti cap possible desajust de la mateixa dins de la cambra.

### **3.3 Instal·lació del silenciós al vehicle**

L'instal·lador del silenciós està obligat a extreure el silenciós que duia prèviament el vehicle, deixant un tram recte de tub d'escapament de com a mínim 40 mm i a l'altura de la zona de què disposa el vehicle per a la col·locació del silenciós.

Els punts d'ancoratge han d'estar situats el més a prop possible d'on va col·locat el silenciós, un a la part de davant i un a la part de darrere del mateix.

El sistema de subjecció s'ha de muntar de manera que pugui suportar els esforços realitzats pel pes del silenciós, així com les vibracions del sistema.

Les curvatures realitzades a les barretes (*ref. 016001*) per poder adaptar-se a la posició del silenciós respecte al punt d'ancoratge, seran suaus, sense colzes excessius.

Les barretes aniran soldades al cantell de l'agrat entre les parets exteriors i la carcassa amb soldadura homogènia d'arc protegit.

Els cargols de subjecció (*ref. 017001*) aniran cargolats a la xapa inferior del xassís del vehicle.

L'abraçadora (*ref. 018001*) estarà col·locada aproximadament a 10 mm de l'extrem del tub d'entrada del silenciós.

La resta d'unions entre els diferents elements, estan indicades al plànol nº 12 *Muntatge dels ancoratges*.



# **ESTAT D'AMIDAMENTS**



# ÍNDIX DE L'ESTAT D'AMIDAMENTS

**1 MATERIAL DE FABRICACIÓ DEL SILENCIÓS.....445**

**2 MAQUINÀRIA PER LA FABRICACIÓ.....447**



# 1 MATERIAL DE FABRICACIÓ DEL SILENCIÓS

Aquests amidaments corresponen a la fabricació d'una unitat del producte. En ells es reflexa la quantitat de cada material que es necessitarà per a conformar cada unitat i per a embalar-la.

Descripció	Nombre Unitats	Amidaments			Resultats	
		Llarg	Ample	Alt	Parcial	Total
Tub rodó d'acer inoxidable AISI-304 de 53 mm de diàmetre exterior i 50 mm de diàmetre interior	2	27			54	54 cm
Xapa d'acer inoxidable AISI-304 laminada en fred d'1mm de gruix	1	57,66	43,76		2.523,2	8.426,89 cm <sup>2</sup>
	1	57,14	44,57		2.546,73	
	2	28,34	22,34		1.266,23	
	2	27,2	21,2		1.153,28	
	3	20,93	14,93		937,45	
Xapa d'acer inoxidable AISI-304 laminada en fred de 2 mm de gruix	2	13,8	9,0		248,4	248,4 cm <sup>2</sup>
Manta compacta de llana vidre de 34 kg/m <sup>3</sup> i 50 mm de gruix	2	25,6	16,5		844,8	844,8 cm <sup>2</sup>
Barra massissa d'acer inoxidable AISI-304 de secció circular de 10 mm de diàmetre	2	30			60	60 cm
Peça emmotllada de cautxú tipus EPDM	2				2	2 u.

Cargol rosca xapa autotrepant amb recobriment zincat i cabota hexagonal, DIN 7504-K de 48 x 16 mm	4				4	4 u.
Cargol rosca mètrica amb recobriment zincat i cabota hexagonal, DIN 933 - 4.8 de 6 x 55 mm	2				2	2 u.
Femella de cargol hexagonal autoblocant (insert nylon) d'acer inoxidable AISI-304, DIN 985 M6	2				2	2 u.
Abraçadora metàl·lica sense-fi d'acer inoxidable, de 40-60 mm de diàmetre	1				1	1 u.
Caixa de cartró Galia de doble canal ref. A10	1	65	21	20	1	1 u.
Caixa de cartró de canal simple per a cargols i peces d'ancoratge ref. C40	1	20	6	5	1	1 u.
Span-pack: protector i farciment de l'interior de la caixa	1				1	1 u.
Mà d'obra de fabricació i ensamblatge de les peces	1				1	1

## 2 MAQUINÀRIA PER LA FABRICACIÓ

Descripció	Nombre Unitats	Amidaments (m)			Resultats	
		Llarg	Ample	Alt	Parcial	Total
Talladora de xapa làser	1	9,3	4,6	2	1	1 u
Prensa d'embotició	2	1,3	1,1	2,4	2	2 u
Soldadora per punts de sobretaula	1	0,92	0,38	1,21	1	1 u
Soldadora TIG	1	0,78	0,63	1,1	1	1 u
Plegadora de xapa	1	4,75	1,96	2,3	1	1 u
Corbadora i talladora de barretes	1	4,3	1,2	1,2	1	1 u
Talladora làser de tubs	1	11,5	4,1	2,1	1	1 u
Punxonadora de tubs	1	1,6	0,9	0,9	1	1 u
Ranuradora d'extrems de tubs	1	0,9	0,5	1,3	1	1 u
Màquina per arrodonir extrems de tubs	1	1,1	0,7	1,2	1	1 u
Agrafadora longitudinal	1	5,1	1,2	2,1	1	1 u
Eixampladora d'extrems de tubs	1	2,2	1,4	1,9	1	1 u
Màquina de muntatge i col·locació de les peces interiors	1	3,6	1,1	2	1	1 u
Soldadora de parets interiors	1	1,8	1,4	2,2	1	1 u
Agrafadora doble	1	1,9	1,1	2,3	1	1 u
Taula rotativa de soldadura	1	2,1	1,4	1,6	1	1 u
Bancs de treball (per introducció de llana de vidre i empaquetat)	2	1,5	1	0,8	2	2 u

**PRESSUPOST**





# ÍNDIX DEL PRESSUPOST

<b>1 MATERIAL DE FABRICACIÓ DEL SILENCIÓS.....</b>	<b>453</b>
<b>1.1 Pressupost del material de fabricació total .....</b>	<b>454</b>
 <b>2 PRESSUPOST D'INSTAL·LACIÓ DE LA MAQUINÀRIA.....</b>	<b>455</b>
<b>2.1 Pressupost total d'instal·lació de maquinària.....</b>	<b>456</b>
 <b>3 ESTUDI DE VIABILITAT ECONÒMICA</b>	
<b>3.1 Benefici de fabricació del producte.....</b>	<b>457</b>
<b>3.2 Despeses generades pel procés productiu.....</b>	<b>458</b>
3.2.1 Consum elèctric.....	458
3.2.2 Lloguer de la nau.....	460
3.2.3 Adquisició de la maquinària i altres elements.....	460
3.2.4 Salaris dels treballadors.....	464
3.2.5 Altres despeses existents.....	464
3.2.6 Despesa total.....	465
<b>3.3 Benefici net de la fabricació.....</b>	<b>465</b>



# 1 FABRICACIÓ DEL SILENCIÓS

El següent pressupost està calculat per a la fabricació d'una unitat del producte. Consten tots els materials que faran falta per a produir cada unitat i també el material que s'utilitzarà per a l'embalatge de cada una. Es detalla la quantitat de cada material diferent que s'emprarà, el preu unitari i l'import final de cada un per separat, per a posteriorment obtenir el cost de fabricació de cada unitat.

Descripció	Nombre d'unitats		Preu unitari	Import (€)
Tub rodó d'acer inoxidable AISI-304 de 53 mm de diàmetre exterior i 50 mm de diàmetre interior	54 cm	0,54 m	14,40 €/ m	7,776
Xapa d'acer inoxidable AISI-304 laminada en fred d'1mm de gruix	8.426,89 cm <sup>2</sup>	6,79 kg	4,01 €/ kg	27,2279
Xapa d'acer inoxidable AISI-304 laminada en fred de 2 mm de gruix	248,4 cm <sup>2</sup>	0,4 kg	4,01 €/ kg	1,604
Manta compacta de llana vidre de 34 kg/m <sup>3</sup> i 50 mm de gruix	844,8 cm <sup>2</sup>	0.08448 m <sup>2</sup>	3,02 €/ m <sup>2</sup>	0,2551
Barra massissa d'acer inoxidable AISI-304 de secció circular de 10 mm de diàmetre	60 cm	0,6 m	8,06 €/ m	4,836
Peça emmotllada de cautxú tipus EPDM		2 u.	39,59 €/ 100 u.	0,7918
Cargol rosca xapa autotrepant amb recobrint zincat i cabota hexagonal, DIN 7504-K de 48 x 16 mm		4 u.	23,14 €/ 1000 u.	0.0925

Cargol rosca mètrica amb recobriments zincat i cabota hexagonal, DIN 933 - 4.8 de 6 x 55 mm		2 u.	64,31 €/ 1000 u.	0,1286
Femella de cargol hexagonal autoblocant (insert nylon) d'acer inoxidable AISI-304, DIN 985, M6		2 u.	1,79 €/ 150 u.	0,0238
Abraçadora metàl·lica sense-fi d'acer inoxidable, de 40-60 mm de diàmetre		1 u.	60,91 €/ 100 u.	0.6091
Caixa de cartró Galia de doble canal ref. A10		1 u	1,53 €/ u	1,53
Caixa de cartró de canal simple per a cargols i peces d'ancoratge ref. C40		1 u	0,51 €/ u	0,51
Span-pack: protector i farciment de l'interior de la caixa		2 litres	21,50 €/ bossa 20 litres	2,15

TOTAL: 47,54 €

## 1.1 Pressupost de fabricació total

Fabricació d'una unitat del producte

BASE IMPOSABLE	47,54 €
I.V.A. 16 %	7,61 €
<b>TOTAL</b>	<b>55,15 €</b>

## 2 PRESSUPOST D'INSTAL·LACIÓ DE LA MAQUINÀRIA

En el següent pressupost consten totes les màquines i equips que es necessitaran per a dur a terme el procés productiu:

Descripció	Nombre d'unitats		Preu unitari	Import (€)
Talladora de xapa làser		1 u.	278.520 €	278.520 €
Prensa d'embotició		2 u.	34.273 €	68.546 €
Soldadora per punts de sobretaula		1 u.	4.820 €	4.820 €
Soldadora TIG		1 u.	6.331 €	6.331 €
Plegadora de xapa		1 u.	12.340 €	12.340 €
Corbadora i talladora de barretes		1 u.	26.717 €	26.717 €
Talladora làser de tubs		1 u.	317.180 €	317.180 €
Punxonadora de tubs		1 u.	24.590 €	24.590 €
Ranuradora d'extrems de tubs		1 u.	7.430 €	7.430 €
Màquina per arrodonir extrems de tubs		1 u.	4.315 €	4.315 €
Agrafadora longitudinal		1 u.	344.060 €	344.060 €
Eixampladora d'extrems de tubs		1 u.	48.400 €	48.400 €
Màquina de muntatge i col·locació de les peces interiors		1 u.	35.600 €	35.600 €
Soldadora de parets interiors		1 u.	38.100 €	38.100 €
Agrafadora doble		1 u.	99.792 €	99.792 €
Taula rotativa de soldadura		1 u.	8.310 €	8.310 €
Bancs de treball (per introducció de llana de vidre i empaquetat)		2 u.	365 €	730 €

TOTAL: 1.325.781 €

## 2.1 Pressupost total d'instal·lació de maquinària

Maquinaria necessària per la fabricació	1.325.781 €
Benefici industrial 6%	79.546,86 €
<hr/>	
BASE IMPOSABLE	1.405.327,86 €
I.V.A. 16 %	224.852,46 €
<hr/>	
<b>TOTAL</b>	<b>1.630.180,32 €</b>

## 3 ESTUDI DE VIABILITAT ECONÒMICA

A continuació es realitzarà una previsió dels beneficis nets que s'obtindran amb l'implantació del procés productiu que s'estudia en el present projecte. Els resultats obtinguts han de considerar-se com a orientatius ja que per a obtenir-los es realitzaran una sèrie de suposicions que podran canviar a l'hora de portar aquest projecte a la realitat i que, evidentment, podrien suposar canvis considerables en els beneficis finals de la fabricació. Algunes d'aquestes suposicions són que la fabricació es dura a terme a la ciutat de Lleida, que es llogarà la nau industrial per habilitar el procés, o que la inversió inicial es finançarà íntegrament mitjançant alguna entitat bancària.

El motiu d'aquest estudi és donar una idea sobre la viabilitat econòmica de la fabricació en sèrie del silenciós, i ajudar així en la decisió d'implantar o no el procés productiu que s'ha estudiat anteriorment.

Aquesta secció consta de tres subapartats per a calcular el benefici mensual previst per a tot el procés: el primer calcula el benefici brut que es podrà obtenir amb la fabricació, el segon analitza tot el conjunt de despeses que tindrem, i finalment al tercer apartat s'obtindrà el benefici net de la producció.

### 3.1 Benefici de la fabricació del producte

Segons el estudi del procés productiu realitzat anteriorment la fàbrica podrà realitzar diàriament 144 unitats del producte, si considerem mensualment un total de 20 dies laborals efectius tindrem una producció mensual de:

$$86 \text{ unitats/dia} \times 20 \text{ dies/mes} = 1720 \text{ unitats/mes}$$

El valor de mercat que considerarem per aquest producte serà de 100 €cada unitat, que serà el preu pel que vendrem el nostre silenciós. El cost de tots el materials que componen cada unitat és de 55,15 € al pressupost del present projecte es poden veure especificats tots ells amb el preu unitari i la quantitat utilitzada de cadascun d'ells.

Així doncs el benefici brut que obtindrem per la venda de cada silenciós serà de:

$$100 \text{ €} - 55,15 \text{ €} = 44,85 \text{ €}$$

I a partir d'aquesta xifra i de la producció mensual podem calcular els beneficis bruts que obtindrem cada mes amb la fabricació:

$$1720 \text{ unitats/mes} \times 44,85 \text{ €/unitat} = 77.142 \text{ €/mes}$$



## 3.2 Despeses generades pel procés productiu

### 3.2.1 Consum elèctric

#### 3.2.1.1 Càlcul potència elèctrica a instal·lar

Talladora de xapa .....	40 kW
Prensa d'embotició .....	29,5 kW
Soldadora per punts .....	8 kW
Soldadora manual TIG .....	5 kW
Plegadora de xapa .....	18,5 kW
Corbadora de barretes .....	9,5 kW
Talladora de tubs .....	40 kW
Punxonadora de tubs .....	9,5 kW
Ranuradora d'extrems de tubs .....	6,5 kW
Màquina per arrodonir extrems de tubs .....	6,5 kW
Agrafadora longitudinal automatitzada .....	12 kW
Eixampladora dels extrems de la carcassa .....	7,5 kW
Màquina de muntatge i introducció de les peces interiors .....	8 kW
Soldadora de les parets interiors .....	15 kW
Agrafadora doble vertical .....	10 kW
Taula de soldadura rotativa .....	5 kW

---

Total maquinària: 230,5 kW

Il·luminació de la nau .....	50 kW
Serveis auxiliars .....	10 kW

---

Total: 290,5 kW

Futures ampliacions: + 20 %

---

348,6 kW

POTÈNCIA A CONTRACTAR: 350 kW

### 3.2.1.2 Previsió del consum elèctric mensual

Potència màxima consumida ..... 290,5 kW

Coefficient de simultaneïtat:      x      0,70

203,4 kW

x      8 hores/dia

x      20 dies /mes

TOTAL:      32.544 kWh/mes

### 3.2.1.3 Previsió de la despesa elèctrica mensual

Potència contractada 350 kW x 1,5063 €/kW ..... 527,21 €

Cost del consum 32.544 kWh x 0,088179 €/kWh ..... 2.869,70 €

Subtotal:      3.396,91 €

Impost sobre l'electricitat 3.396,91 € x 1,05113 x 4,864 % ..... 173,67 €

Base imposable:      3.570,58 €

I.V.A. 16 %:      571,29 €

TOTAL:      4.141,87 €

### 3.2.2 Lloguer de la nau

El preu orientatiu del lloguer d'una nau industrial de les característiques descrites al projecte, s'ha calculat mitjançant una estimació d'alguns valors de diferents naus ubicades a la ciutat de Lleida, i a partir d'aquí hem realitzat la mitja aritmètica per a poder definir un preu mig per metre quadrat de la nau industrial.

Preus de diferents naus a polígons industrials de la ciutat de Lleida:

Polígon LogisPark	Polígon "El Segre"	Polígon "Camí dels Frares"
3,60 €/ m <sup>2</sup> mes	2,19 €/ m <sup>2</sup> mes	3,03 €/ m <sup>2</sup> mes
2,90 €/ m <sup>2</sup> mes	2,24 €/ m <sup>2</sup> mes	2,02 €/ m <sup>2</sup> mes
3,00 €/ m <sup>2</sup> mes	2,60 €/ m <sup>2</sup> mes	2,35 €/ m <sup>2</sup> mes
	2,63 €/ m <sup>2</sup> mes	2,05 €/ m <sup>2</sup> mes
		2,94 €/ m <sup>2</sup> mes

La mitja aritmètica de tots aquests valors és de 2,63 €/ m<sup>2</sup> mes, i com la superfície calculada per a la nostra nau és de 1250 m<sup>2</sup>:

$$1250 \text{ m}^2 \times 2,63 \text{ €/ m}^2 \text{ mes} = 3287,50 \text{ €/ mes}$$

Aproximarem aquest valor per 3300 €/mes

### 3.2.3 Adquisició de la maquinària i altres elements

Per condicionar la nau industrial per a poder acollir el procés productiu s'haurà de realitzar una inversió inicial per a afrontar el cost de tota la maquinària necessària (descrita a l'annex de maquinària) i de les instal·lacions i equips necessaris que facin falta per a desenvolupar l'activitat. A continuació farem una estimació de aquests elements.

El preu de la maquinària que haurem d'adquirir està reflexat i detallat al pressupost i resulta un valor total de 1.630.180,32 €

A part de les màquines haurem d'adquirir altres equips com materials d'oficina (mobiliari, ordinadors, impressores, telèfons...), bancs de treball, prestatge per a l'emmagatzematge de matèries primeres, etc. Estimarem el valor de tots aquest equips en 40.000 €

D'aquesta manera el cost total de la inversió inicial serà de:

$$1.630.180,32 \text{ €} + 40.000 \text{ €} = 1.670.180,32 \text{ €}$$

Per a afrontar el pagament d'aquest valor es recorrerà a un finançament per part d'una entitat bancària durant un període de 10 anys, en el que anirem amortitzant poc a poc el

conjunt de despeses. A continuació es detalla l'amortització d'aquest préstec que es realitzarà amb un interès aproximat del 5 %, i aproximarem l'import total a finançar a 1.671.000 €

### CUADRE D'AMORTITZACIÓ

Cuota a pagar: **17.723,55 €**

Mes	Principal cuotes	Interesos per cuota	Principal pendent
1	10.761,05	6.962,50	1.660.238,95
2	10.805,89	6.917,66	1.649.433,07
3	10.850,91	6.872,64	1.638.582,16
4	10.896,12	6.827,43	1.627.686,04
5	10.941,52	6.782,03	1.616.744,51
6	10.987,11	6.736,44	1.605.757,40
7	11.032,89	6.690,66	1.594.724,51
8	11.078,86	6.644,69	1.583.645,65
9	11.125,02	6.598,52	1.572.520,62
10	11.171,38	6.552,17	1.561.349,24
11	11.217,93	6.505,62	1.550.131,32
12	11.264,67	6.458,88	1.538.866,65
13	11.311,60	6.411,94	1.527.555,05
14	11.358,73	6.364,81	1.516.196,31
15	11.406,06	6.317,48	1.504.790,25
16	11.453,59	6.269,96	1.493.336,66
17	11.501,31	6.222,24	1.481.835,35
18	11.549,23	6.174,31	1.470.286,12
19	11.597,36	6.126,19	1.458.688,76
20	11.645,68	6.077,87	1.447.043,08
21	11.694,20	6.029,35	1.435.348,88
22	11.742,93	5.980,62	1.423.605,96
23	11.791,86	5.931,69	1.411.814,10
24	11.840,99	5.882,56	1.399.973,11
25	11.890,33	5.833,22	1.388.082,78
26	11.939,87	5.783,68	1.376.142,91
27	11.989,62	5.733,93	1.364.153,30
28	12.039,58	5.683,97	1.352.113,72
29	12.089,74	5.633,81	1.340.023,98
30	12.140,11	5.583,43	1.327.883,87
31	12.190,70	5.532,85	1.315.693,17
32	12.241,49	5.482,05	1.303.451,67
33	12.292,50	5.431,05	1.291.159,18
34	12.343,72	5.379,83	1.278.815,46

35	12.395,15	5.328,40	1.266.420,31
36	12.446,80	5.276,75	1.253.973,51
37	12.498,66	5.224,89	1.241.474,85
38	12.550,74	5.172,81	1.228.924,12
39	12.603,03	5.120,52	1.216.321,09
40	12.655,54	5.068,00	1.203.665,54
41	12.708,27	5.015,27	1.190.957,27
42	12.761,23	4.962,32	1.178.196,04
43	12.814,40	4.909,15	1.165.381,65
44	12.867,79	4.855,76	1.152.513,86
45	12.921,41	4.802,14	1.139.592,45
46	12.975,25	4.748,30	1.126.617,20
47	13.029,31	4.694,24	1.113.587,90
48	13.083,60	4.639,95	1.100.504,30
49	13.138,11	4.585,43	1.087.366,18
50	13.192,86	4.530,69	1.074.173,33
51	13.247,83	4.475,72	1.060.925,50
52	13.303,02	4.420,52	1.047.622,48
53	13.358,45	4.365,09	1.034.264,02
54	13.414,11	4.309,43	1.020.849,91
55	13.470,01	4.253,54	1.007.379,90
56	13.526,13	4.197,42	993.853,77
57	13.582,49	4.141,06	980.271,28
58	13.639,08	4.084,46	966.632,20
59	13.695,91	4.027,63	952.936,29
60	13.752,98	3.970,57	939.183,31
61	13.810,28	3.913,26	925.373,02
62	13.867,83	3.855,72	911.505,20
63	13.925,61	3.797,94	897.579,59
64	13.983,63	3.739,91	883.595,95
65	14.041,90	3.681,65	869.554,06
66	14.100,41	3.623,14	855.453,65
67	14.159,16	3.564,39	841.294,49
68	14.218,15	3.505,39	827.076,34
69	14.277,40	3.446,15	812.798,94
70	14.336,89	3.386,66	798.462,06
71	14.396,62	3.326,93	784.065,43
72	14.456,61	3.266,94	769.608,83
73	14.516,84	3.206,70	755.091,98
74	14.577,33	3.146,22	740.514,65
75	14.638,07	3.085,48	725.876,58
76	14.699,06	3.024,49	711.177,52
77	14.760,31	2.963,24	696.417,21
78	14.821,81	2.901,74	681.595,40

79	14.883,57	2.839,98	666.711,84
80	14.945,58	2.777,97	651.766,25
81	15.007,85	2.715,69	636.758,40
82	15.070,39	2.653,16	621.688,01
83	15.133,18	2.590,37	606.554,83
84	15.196,24	2.527,31	591.358,59
85	15.259,55	2.463,99	576.099,04
86	15.323,13	2.400,41	560.775,91
87	15.386,98	2.336,57	545.388,93
88	15.451,09	2.272,45	529.937,83
89	15.515,47	2.208,07	514.422,36
90	15.580,12	2.143,43	498.842,24
91	15.645,04	2.078,51	483.197,20
92	15.710,23	2.013,32	467.486,97
93	15.775,69	1.947,86	451.711,29
94	15.841,42	1.882,13	435.869,87
95	15.907,42	1.816,12	419.962,45
96	15.973,70	1.749,84	403.988,74
97	16.040,26	1.683,29	387.948,48
98	16.107,10	1.616,45	371.841,39
99	16.174,21	1.549,34	355.667,18
100	16.241,60	1.481,95	339.425,58
101	16.309,27	1.414,27	323.116,30
102	16.377,23	1.346,32	306.739,07
103	16.445,47	1.278,08	290.293,60
104	16.513,99	1.209,56	273.779,61
105	16.582,80	1.140,75	257.196,81
106	16.651,89	1.071,65	240.544,92
107	16.721,28	1.002,27	223.823,64
108	16.790,95	932,6	207.032,69
109	16.860,91	862,64	190.171,78
110	16.931,17	792,38	173.240,62
111	17.001,71	721,84	156.238,91
112	17.072,55	651	139.166,35
113	17.143,69	579,86	122.022,67
114	17.215,12	508,43	104.807,55
115	17.286,85	436,7	87.520,70
116	17.358,88	364,67	70.161,82
117	17.431,21	292,34	52.730,61
118	17.503,84	219,71	35.226,78
119	17.576,77	146,78	17.650,01
120	17.650,01	73,54	0

### 3.2.4 Salaris dels treballadors

Una altra despesa que s'ha de tenir en compte és el sou que pagarem als nostres treballadors. En principi s'han comptabilitzat un total de 13 treballadors que es necessitaran com a mínim per a dur a terme les tasques de producció, dels quals es consideraran quatre com a treballadors qualificats, que seran dos soldadors i els altres dos que controlaran les màquines de tall de control numèric (talladores de planxes i tubs).

A demés d'aquests operaris també hem d'incloure el personal d'oficina que durà a terme la gestió administrativa de la empresa. Orientativament afegirem un secretari, un administratiu i un comptable.

A continuació es mostra la suma de les despeses que es tindran amb els salaris d'aquests treballadors:

Peons 9 x 800 €.....	7.200 €
Treballadors qualificats 4 x 1200 €.....	4.800 €
Secretari.....	800 €
Administratiu.....	1.000 €
Comptable.....	1.200 €

---

Subtotal:	15.000 €
-----------	----------

Pagament a la Seguretat Social per salaris:	+ 45 %
---	--------

---

TOTAL:	<b>21.750 €</b>
--------	-----------------

### 3.2.5 Altres despeses existents

A demés de totes les despeses que hem estudiat fins ara també hem d'incloure d'altres que, tot i que ara mateix no es poden calcular exactament, suposaran un valor a considerar a l'empresa.

En aquest apartat sumaren, per exemple, els costos de telefonia, internet, carburants, aigua, escombraries, transports...

Per a tenir en compte tots aquests factors en la suma de la despesa total considerarem una quantitat mensual de **5000 €**.

### 3.2.6 Despesa total

Per a saber la quantitat total de despeses mensuals que generarà la fàbrica simplement realitzarem la suma de totes les quantitats que hem anat obtenint en els apartats anteriors:

Consum elèctric .....	4.141,87 €
Lloguer de la nau .....	3.300 €
Adquisició de la maquinària i altres .....	17.723,55 €
Salari dels treballadors .....	21.750 €
Altres .....	5.000 €

TOTAL: 51.915,42 €

### 3.3 Benefici net de la fabricació

Finalment calcularem el benefici net previst del procés productiu, que serà el benefici aproximat que hauria d'obtenir el fabricant al vendre els seus productes, després d'haver restat totes les despeses existents.

Aquest valor, igual que hem anat fent fins ara, serà mensual i resulta de l'operació de restar els beneficis bruts i la despesa total que genera la fàbrica.

$$77.142 \text{ €} - 51.915,42 \text{ €} = \span style="border: 1px solid green; padding: 2px;">25.226,58 \text{ €}$$





# **ESTUDIS AMB ENTITAT PRÒPIA**



# ÍNDIX DELS ESTUDIS AMB ENTITAT PRÒPIA

<b>PREVENCIÓ DE RISCOS LABORALS</b>	471
<b>1 Seguretat i salut en els llocs de treball</b>	471
1.1 Espais de treball	471
1.2 Envans, finestres i obertures	472
1.3 Vies de circulació	472
1.4 Portes	472
1.5 Vies i sortides d'evacuació	473
1.6 Condicions de protecció contra incendis	473
1.7 Instal·lació elèctrica	474
1.8 Il·luminació dels llocs de treball	474
1.9 Serveis higiènics i locals de descans	475
1.10 Locals de descans	475
1.11 Materials i locals de primers auxilis	476
<b>2 Seguretat en màquines</b>	476
2.1 Definicions	476
2.2 Exigències de la normativa sobre les màquines i components de seguretat	478
2.3 Legislació	480
<b>3 El soroll</b>	480
3.1 Avaluació de l'exposició al soroll	481
3.2 Mesures a adoptar	481
3.3 Protectors auditius	482
<b>4 Exposicions a agents</b>	482
4.1 Partícules en suspensió	483
4.2 Gasos de soldadura	483
<b>5 Seguretat i salut en la utilització d'equips de protecció individual</b>	484
5.1 Obligacions de l'empresari	484
5.2 Obligacions i drets dels treballadors	484
<b>6 Senyalització</b>	485
6.1 Senyals visuals	486
6.2 Senyals audibles	488
6.3 Senyals tàctils	488
6.4 Codificació de la informació	488
6.5 Senyals de seguretat	490
<b>7 Disseny ergonòmic del treball i les tasques</b>	496
7.1 Disseny correcte del treball	497
7.2 Principis de disseny de les tasques	498



# PREVENCIÓ DE RISCOS LABORALS

Tot seguit es realitzarà un estudi sobre les condicions mínimes de seguretat i les mesures de prevenció de riscos laborals que haurà de tenir la fàbrica on es desenvolupi l'activitat de fabricació del silenciós.

Les condicions existents en aquest document, si s'escau, estan observades al disseny de la nau recomanada que s'inclou en el present projecte. D'aquesta manera si es conserva la distribució proposada de les màquines, els espais entre elles, els espais lliures... que figuren als plànols pertinents, es respectaran les condicions necessàries de seguretat i de riscos laborals.

## 1 Seguretat i salut en els llocs de treball

Les disposicions presents en aquest apartat provenen del Reial decret 486/1997, de 14 d'abril (BOE núm. 97, de 23 d'abril de 1997).

Es defineixen els llocs de treball com les àrees del centre de treball, edificades o no, en les quals els treballadors hagin de romandre o a les quals puguin accedir per motiu del seu treball, inclosos els serveis higiènics, els locals de descans i de primers auxilis, els menjadors, i les instal·lacions de servei o protecció annexes als llocs de treball.

### 1.1 Espais de treball

Les dimensions dels locals de treball hauran de permetre que el treball es realitzi sense riscos per la seguretat i salut dels treballadors i en condicions ergonòmiques acceptables.

D'aquesta manera les dimensions mínimes que s'accepten són:

- Altura del terra al sostre: 3 m (als serveis oficines o despatxos es pot reduir a 2,5).
- Superfície lliure per treballador: 2 m<sup>2</sup>.
- Volum no ocupat per treballador: 10 m<sup>3</sup>.

Les zones del lloc de treball on hagi risc de caigudes de persones o objectes, o d'exposició o contacte amb elements agressius estaran clarament senyalitzades.

El terra del local de treball haurà de ser fix, estable i no lliscant, sense irregularitats ni pendents perilloses.

## 1.2 Envans, finestres i obertures

Els envans transparents o translúcids i, especialment, els envans de vidre situats a prop dels llocs de treball i les vies de circulació hauran d'estar clarament senyalitzats i seran fabricats amb materials segurs.

Els treballadors hauran de poder realitzar de manera segura les operacions d'obertura, tancament, ajustatge o fixació de finestres, d'obertures d'il·luminació zenital i de ventilació.

## 1.3 Vies de circulació

Les vies de circulació, interiors i exteriors, dels llocs de treball han de poder utilitzar-se de manera fàcil i segura pels vianants o vehicles que hi circulin, i pel personal que hi treballi al voltant.

Aquestes vies han de ser adequades al nombre potencial d'usuaris i a les característiques de l'activitat i del lloc de treball.

L'amplada mínima de les portes exteriors i dels passadissos s'indica a continuació:

- Portes exteriors: 80 cm.
- Passadissos: 1 m.

Els molls de càrrega han de tenir com a mínim una sortida.

## 1.4 Portes

Les portes transparents han de tenir una senyalització a l'altura de la vista i han d'estar protegides contra el trencament.

Les portes de vaivé han de ser transparents, o tenir parts transparents que permetin la visibilitat de la zona a que s'accedeix.

Les portes transparents han de tenir una senyalització a l'altura de la vista i han d'estar protegides contra el trencament.

Les portes de vaivé han de ser transparents, o tenir parts transparents que permetin la visibilitat de la zona a què s'accedeix.

Les portes corredisses han de tenir un sistema de seguretat que n'impedeixi la sortida dels carrils i la seva caiguda.

Les portes que s'obrin cap amunt disposaran d'un sistema de seguretat que n'impedeixi la caiguda.

Les portes mecàniques tindran un dispositiu de parada d'emergència i d'obertura manual, o bé s'obriran automàticament si s'avaria el sistema d'emergència.

Les portes d'accés a les escales no s'obriran directament sobre els graons sinó sobre replans d'amplada igual o superior a la dels graons.

## 1.5 Vies i sortides d'evacuació

Les vies i sortides d'evacuació, així com les vies de circulació i les portes que hi donin accés, s'ajustaran a allò previst en la seva normativa específica.

En tot cas, i tret de les disposicions específiques de la normativa esmentada, aquestes vies i sortides hauran de satisfer les condicions següents:

- Les vies i sortides d'evacuació romandran expedites i conduiran a l'exterior o a una zona segura.
- Les portes d'emergència obriran cap a l'exterior, de manera fàcil i immediata per tal que qualsevol persona pugui utilitzar-les en cas d'urgència.
- En cap cas s'utilitzaran portes específicament d'emergència que siguin corredisses o giratòries.
- Les portes situades en els recorreguts de les vies d'evacuació se senyalitzaran de manera adequada, i es podran obrir en qualsevol moment des de l'interior sense cap ajuda especial.
- Les vies i sortides específiques d'evacuació hauran de senyalitzar-se d'acord amb allò que preveu el Reial decret 485/1997, de 14 d'abril, sobre disposicions mínimes de senyalització de seguretat i salut en el treball.
- Les vies i sortides d'evacuació s'equiparan, si cal, amb il·luminació de seguretat d'intensitat suficient.

## 1.6 Condicions de protecció contra incendis

Els llocs de treball s'ajustaran a la normativa vigent i d'aplicació sobre condicions de protecció contra incendis.

En tot cas, i tret de les disposicions específiques de la normativa esmentada, els llocs de treball hauran de satisfer les condicions següents:

- Estaran equipats amb dispositius per combatre els incendis i, si calgués, amb detectors contra incendis i amb sistemes d'alarma adequats a les dimensions, ús i ocupació dels edificis, així com a les característiques dels equips i de les substàncies existents.
- Els dispositius no automàtics de lluita contra incendis seran de fàcil accés i manipulació, i se senyalitzaran d'acord amb el que disposa la normativa sobre senyalització ressenyada en l'apartat anterior.



## 1.7 Instal·lació elèctrica

La instal·lació elèctrica dels llocs de treball s'ajustarà a allò que disposa la normativa específica dels Reglaments electrotècnics de baixa i d'alta tensió i Reial decret 614/2001, de 8 de juny, sobre les disposicions mínimes per a la protecció de la salut i seguretat dels treballadors front el risc elèctric.

En tot cas, i tret de les disposicions específiques de l'esmentada normativa, es compliran les següents condicions:

- La instal·lació elèctrica no comportarà riscos d'incendi o d'explosió, ni d'accidents dels treballadors per contactes directes o indirectes.
- La instal·lació elèctrica i els dispositius de protecció seran adequats a la tensió, als factors externs condicionants, i a la competència de les persones que tinguin accés a parts de la instal·lació.

## 1.8 Il·luminació dels llocs de treball

La il·luminació dels llocs de treball s'adaptarà a les característiques de l'activitat.

Sempre que sigui possible, els llocs de treball tindran il·luminació natural, la qual s'haurà de complementar, si convé, amb una il·luminació artificial general i, si cal, també amb una de localitzada.

Els nivells mínims d'il·luminació seran els establerts en la taula de sota, els quals s'hauran de duplicar en aquelles zones on existeixin riscos apreciables de caigudes, de xocs o d'altres accidents.

La distribució dels nivells d'il·luminació serà el més uniforme possible, s'evitaran les variacions brusques d'il·luminació, així com els enlluernaments directes i indirectes.

Els locals de treball disposaran d'enllumenat d'emergència, d'evacuació i de seguretat. Els sistemes d'il·luminació utilitzats no comportaran riscos elèctrics, d'incendi o d'explosió.

ZONA O PART DEL LLOC DE TREBALL		NIVELL MÍNIM D'IL·LUMINACIÓ (LUX)
Zones on es facin tasques amb exigències visuals	Baixes	100
	Moderades	200
	Altes	500
	Molt altes	1000
Àrees o locals d'ús comercial		50
Àrees o locals d'ús habitual		100
Vies de circulació d'ús ocasional		25
Vies de circulació d'ús habitual		50

Taula 1.1 Nivell mínim d'il·luminació en les zones de treball

## 1.9 Serveis higiènics i locals de descans

### Aigua potable

En els llocs de treball es disposarà d'aigua potable en quantitat suficient i fàcilment accessible.

### Vestidors, dutxes, lavabos i vàters

Els llocs de treball disposaran de vestidors, quan els treballadors hagin de portar roba especial de treball, amb seients i armaris amb clau per guardar-hi la roba i el calçat.

Quan els vestidors no siguin necessaris, els treballadors disposaran de penjadors o d'armaris per col·locar-hi la roba.

A prop de les zones de treball i dels vestidors hi haurà lavabos amb: miralls, rentamans amb aigua corrent (calenta si cal), sabó i tovalloles individuals o un altre sistema d'assecat amb garanties higièniques.

Quan es realitzin habitualment treballs bruts, contaminants o que originin una suor elevada, hi hauran dutxes d'aigua corrent, calenta i freda.

Els llocs de treball disposaran de vàters amb descàrrega automàtica d'aigua i paper higiènic, dotats de rentamans. En els de les dones s'instal·laran recipients especials i tancats. Les cabines disposaran d'una porta amb tanca interior i d'un penjador.

Les dimensions i els equipaments dels serveis higiènics dependran del nombre de treballadors que els utilitzin simultàniament, els quals han de poder fer-ne ús sense dificultats o molèsties.

Els vestidors, els lavabos i els vàters han d'estar separats per a homes i per a dones, o se n'ha de preveure una utilització per separat.

Aquests locals només s'utilitzaran per als serveis d'higiene a què estan destinats.

## 1.10 Locals de descans

Els llocs de treball on la seguretat o la salut dels treballadors ho exigeixi disposaran d'un local de descans, dotat de taules i de seients amb respallers, de dimensions adequades al nombre de treballadors que l'hagin d'utilitzar simultàniament.

Les treballadores embarassades i les mares en període d'al·letament hauran de tenir la possibilitat de descansar ajagudes en condicions adequades.

En els locals i zones de descans hauran d'adoptar-se les mesures adequades per a la protecció dels no fumadors.

## 1.11 Materials i locals de primers auxilis

Els llocs de treball disposaran de material per a primers auxilis adequat al tipus de treball.

Tots els llocs de treball disposaran almenys d'una farmaciola portàtil amb el contingut següent:

- Desinfectants i antisèptics autoritzats.
- Gases estèrils.
- Cotó hidròfil.
- Benes.
- Esparadrap.
- Apòsits adhesius.
- Estisores.
- Pines.
- Guants d'un sol ús.

El material de primers auxilis es revisarà periòdicament, i es reposarà de manera immediata el material utilitzat o caducat.

## 2 Seguretat en màquines

### 2.1 Definicions

#### Què s'entén per màquina?

Un conjunt de peces o òrgans units entre si, dels quals almenys un és mòbil i, si és el cas, d'òrgans d'accionament, circuits de comandament i de potència, associats solidàriament per a una aplicació determinada.

També, un conjunt de màquines que estan disposades i són accionades per funcionar solidàriament.

Així mateix, un equip intercanviable que modifica la funció d'una màquina, que es comercialitza perquè el propi operador l'acobli a una màquina, a una sèrie de màquines diferents o a un tractor.

No obstant, el Reial decret exclou del seu àmbit d'aplicació certes màquines i aparells, així com aquelles, els riscos de les quals, quedin coberts per disposicions d'aplicació de Directives específiques.

## **Component de seguretat**

Component que es comercialitza per separat per garantir una funció de seguretat, el mal funcionament del qual posa en perill la seguretat o salut de les persones exposades.

Aquests poden ser:

- Dispositius sensibles per a la detecció de persones.
- Blocs lògics amb funcions de seguretat per a comandaments a dues mans.
- Pantalles mòbils automàtiques per a màquines.
- Estructures de protecció contra el risc de bolcada.
- Estructures de protecció contra el risc de caiguda d'objectes.

## **Norma harmonitzada**

És una especificació tècnica, de caràcter voluntari, que satisfà un o diversos requisits essencials de seguretat. La seva referència ha d'haver-se publicat en el DOCE.

La màquina o component que s'hagi fabricat d'acord amb aquesta norma es considerarà de conformitat als requisits essencials a què es refereix l'esmentada norma.

## **Organisme notificat**

És una entitat competent que realitza avaluacions de conformitat.

Cada Estat membre designa els Organismes existents en el seu territori que s'ajustin als criteris de competència (la norma europea EN45011 dona presumpció de conformitat per als criteris de competència). Es notifiquen a la Comissió de la UE.

## **Examen de tipus**

És el procediment pel qual un Organisme notificat comprova i certifica que el model d'una màquina o d'un component de seguretat compleix les disposicions corresponents del Reial decret. L'han de passar obligatòriament els components de seguretat i les màquines incloses a l'annex IV del Reial decret que no hagin estat dissenyades i fabricades segons normes harmonitzades.

La sol·licitud la presentarà el fabricant o el seu representant en la Unió Europea davant un únic Organisme notificat en la llengua oficial de l'Estat membre en el qual està establert l'organisme notificat (o una llengua acceptada per aquest); el contingut inclourà les dades següents:

- Nom i adreça del fabricant o del representant i lloc de fabricació de la màquina o component de seguretat.

- Expedient tècnic de construcció.
- Una màquina representativa de la producció prevista o indicació del lloc on pot examinar-se.

## **2.2 Exigències de la normativa sobre les màquines i components de seguretat**

- Compliran amb els requisits essencials de seguretat i salut.
- Es construiran d'acord amb l'expedient tècnic elaborat pel fabricant.
- Disposaran de la declaració de conformitat.
- Disposaran del marcatge «CE».

### **Requisits essencials de seguretat i salut**

Són requisits obligatoris que tenen com a objectiu un alt nivell de seguretat. Un cop identificats els perills que es poden presentar en una màquina i avaluats els riscos que poden originar, aquesta s'ha de dissenyar i construir d'acord amb l'anàlisi efectuada, tot definint les mesures preventives adequades amb la prioritat següent:

- Eliminar els riscos.
- Reduir els riscos.
- Prendre mesures tècniques de protecció.
- Proporcionar informació sobre els riscos residuals.

### **Expedient tècnic**

És un document amb les especificacions tècniques de la màquina o del component de seguretat, que ha de constar dels elements bàsics següents:

- Llista de requisits essencials aplicats, normes utilitzades i altres especificacions tècniques usades per al disseny.
- Solucions adoptades per prevenir els perills que presenta la màquina o component de seguretat.
- Plànols de conjunt i dels circuits de comandament.
- Plànols detallats i complets que permetin comprovar el compliment dels requisits essencials de seguretat i salut (si cal, acompanyats amb notes de càlcul, resultats de proves...).
- Manual d'instruccions.

També pot contenir uns elements complementaris eventuais:

- Qualsevol informe tècnic o certificat obtingut d'un organisme o laboratori competent.
- Qualsevol informe tècnic que contingui els resultats dels assajos efectuats, si la màquina es declara de conformitat a una norma harmonitzada.

En el cas de fabricació en sèrie la documentació inclourà les disposicions internes que s'apliquin per mantenir la conformitat de les màquines o els components amb les disposicions de la directiva.

### **Declaració de conformitat**

És un document que ha d'elaborar el fabricant o el representant establert a la Unió Europea per a cada model i tipus de màquina o component de seguretat, en el qual es declara que satisfà els requisits essencials i autoritza el fabricant a col·locar el marcatge «CE». En el contingut s'inclouran les següents dades:

- Nom i adreça del fabricant i del representant, si és el cas.
- Descripció de la màquina o del component (denominació o marca, tipus o model, número de sèrie...).
- Disposicions (Directives, normes) a les quals s'ajusta la màquina.
- Funció de seguretat que realitza el component, si no es dedueix de la descripció.
- Si s'ha aplicat l'examen «CE» de tipus, el nom i adreça de l'organisme notificat i el número de certificació.
- Si s'ha aplicat el procediment de «certificat d'adequació», nom i adreça de l'organisme notificat que hagi efectuat la comprovació de l'expedient tècnic de construcció.
- Si es fa referència a la conformitat a normes harmonitzades o a la utilització de normes o especificacions tècniques nacionals, referència d'aquestes.
- Nom i càrrec del signatari, apoderat per vincular el fabricant o representant.

### **Marcatge CE**

El constituirà el símbol de la figura (des de l'1 de gener de 1995 només s'han de posar les lletres «CE»), conservant-ne les proporcions, amb una alçada mínima de 5 mm; es col·locarà de forma clara i visible.

Implica el compliment d'altres Directives que exigeixen la seva col·locació. En els períodes transitoris de les Directives, el marcatge «CE» únicament indica la conformitat amb les que s'hagin aplicat.



*Fig 2.1 Marcatge CE*

No es col·locaran altres marcatges que puguin crear confusió amb el marcatge «CE».

## 2.3 Legislació

### Comunitària

Directiva 98/37/CE, de 22 de juny, relativa a l'aproximació de legislacions dels Estats membres sobre màquines (DOCE-L 23-7-1998).

Directiva 98/79/CE, de 27 d'octubre de 1998, que modifica la Directiva 98/37/CE (DOCE-L 7-12-1998).

Decisió 98/100/CE, de 22 de gener. Relativa a la publicació de la referència de la norma EN692, de conformitat amb la Directiva 89/392/CEE (DOCE-L 30-1-1998).

Comunicació de la Comissió 2001/C 78/07, referències de Normes harmonitzades (DOCE-C 10-3-2001).

### Estatut

Reial decret 1435/1992, de 27 de novembre, transposició de les Directives 89/392/CEE i 91/368/CEE (BOE 11-12-1992).

Reial decret 56/1995, de 20 de gener, transposició de les Directives 93/44/CEE i 93/68/CEE (BOE 8-2-1995).

Resolució 5-3-1996, publica els Organismes notificats per a l'aplicació del RD 1435/1992 (BOE 22-3-1996).

Resolució 5-7-1999, publica les Normes harmonitzades per a l'aplicació del RD 1435/1992 (BOE 18-8-1999).

## 3 El soroll

R.D. 1.316/1989, de 27 d'octubre, sobre protecció dels treballadors enfront els riscos derivats de l'exposició al soroll durant el treball.  
BOE núm. 263, de 2 de novembre de 1989.

Els factors de soroll i les seves solucions seran aplicables una vegada la fàbrica ja estigui en funcionament.

### 3.1 Avaluació de l'exposició al soroll

L'avaluació de l'exposició dels treballadors al soroll es realitzarà mitjançant la seva mesura. Aquesta serà representativa de les condicions d'exposició i haurà de permetre la determinació del nivell diari equivalent i del nivell de pic.

Quan existeixi una variació significativa de l'exposició entre una jornada de treball i una altra, l'empresari podrà utilitzar per a l'avaluació el nivell setmanal equivalent en lloc del nivell diari equivalent, sempre que ho comuniqui a l'autoritat laboral perquè comprovi si es donen les circumstàncies motivadores de la utilització d'aquest sistema.

No es faran medicions en aquells casos en els quals s'apreciï directament que en un lloc de treball el nivell diari equivalent o el nivell de pic són inferiors a 80 dBA i 140 dB, respectivament.

El procés d'avaluació comprendrà:

- Una avaluació dels llocs de treball existents.
- Avaluacions addicionals quan s'hagi creat un nou lloc de treball o bé es modifiquin els ja existents i que suposin una variació significativa de l'exposició.
- Avaluacions periòdiques com a mínim anuals en els llocs de treball en què el nivell diari equivalent o el nivell de pic superin 85 dBA o 140 dB respectivament, i cada tres anys, si no se sobrepassen aquests límits però quan el nivell diari equivalent superi 80 dBA.

### 3.2 Mesures a adoptar

En els llocs de treball en els quals el nivell diari equivalent superi 80 dBA hauran d'adoptar-se les mesures següents:

- Proporcionar a cada treballador una informació, i, si s'escau, una formació adequada en relació a:
  - L'avaluació de la seva exposició al soroll i els riscos potencials per a la seva audició.
  - Les mesures preventives adoptades que específicament han de dur a terme els propis treballadors.
  - La utilització de protectors auditius.
  - Els resultats del control mèdic de la seva audició.
- Realitzar un control mèdic inicial de la funció auditiva dels treballadors, i posteriors controls periòdics, mínim cada cinc anys.
- Proporcionar protectors auditius als treballadors que ho sol·licitin.

Si el nivell diari equivalent supera els 85 dBA, de les anteriors mesures es modificaran les següents:



- El control mèdic periòdic de la funció auditiva s'haurà de realitzar, com a mínim, cada tres anys.
- S'hauran de subministrar protectors auditius a tots els treballadors.

Si el nivell diari equivalent o el nivell de pic superen els 90 dBA o 140 dB, s'analitzaran els motius de la superació dels límits i es desenvoluparà un programa de mesures tècniques, que disminueixin la generació o la propagació del soroll, i organitzatives per reduir l'exposició. De tot això s'informarà els treballadors afectats, els seus representants i els òrgans interns competents en seguretat i salut laboral.

Quan no sigui possible tècnica i raonablement reduir el nivell diari equivalent o el nivell pic per sota d'aquests límits i, en tot cas, mentre es desenvolupi el programa de mesures concebut per aquest fi, s'adoptaran les mesures indicades anteriorment amb les següents modificacions:

- Els controls mèdics periòdics de la funció auditiva dels treballadors s'hauran de realitzar, com a mínim, anualment.
- Tots els treballadors hauran d'utilitzar protectors auditius. El seu ús obligatori se senyalitzarà seguint allò que disposa el RD 485/1997.
- Sempre que el risc ho justifiqui i sigui possible tècnica i raonablement, els llocs de treball seran delimitats i objecte d'una restricció d'accés.

### 3.3 Protectors auditius

Han de ser proporcionats per l'empresari en nombre suficient, i escollits prèvia consulta amb els òrgans interns competents en seguretat i salut laboral i amb els representants dels treballadors.

El protectors auditius:

- S'ajustaran a allò que es disposa en la normativa general sobre mitjans de protecció personal.
- S'adaptaran als treballadors que els utilitzin, tenint en compte les seves circumstàncies personals i les característiques de les seves condicions de treball.
- Proporcionaran l'atenuació necessària de l'exposició al soroll.

Amb la utilització dels protectors auditius el treballador haurà d'obtenir una atenuació del soroll tal que l'exposició efectiva de la seva oïda sigui inferior a un nivell diari equivalent o nivell de pic de 90 dBA o 140 dB respectivament.

## 4 Exposicions a agents

De cara a la seguretat i salut en els processos de soldadura, s'ha de tenir present l'exposició dels operaris a dos tipus d'agents: les partícules en suspensió i els gasos de soldadura.

## 4.1 Partícules en suspensió

La persona que realitza la soldadura i processos afins (l'operari) pot estar exposat al fum de la soldadura i a altres partícules en suspensió generades en operacions connexes, per exemple, amolat. En alguns casos l'exposició a altres partícules en suspensió pot ser més alta que l'exposició al fum de soldadura.

El fum de soldadura està compost per partícules en suspensió generades per la soldadura i processos afins. Generalment, aquestes partícules són de menys d'1 µm de diàmetre, i respirables. Tanmateix, actualment, la majoria dels països tenen límits d'exposició al fum de soldadura, i a agents químics específics presents en el fum de soldadura, que es refereixen a la fracció inhalable de partícules en suspensió.

La Norma EN ISO 10822-1 especifica un procediment per al mostreig personal de les partícules en suspensió en soldadura i processos afins.

## 4.2 Gasos de soldadura

Un altre factor a tenir en compte en la soldadura són els gasos.

El gasos que es troben durant la soldadura i processos afins són tan nombrosos que seria impossible esmentar-los tots. Depenent del procés, poden incloure:

- els gasos combustibles utilitzats en la soldadura i tall que en combustió produeixen diòxid de carboni i en alguns casos, monòxid de carboni;
- gasos de protecció tals com l'argó, heli, diòxid de carboni o les mescles d'aquests, que poden ser tòxics o asfixiants;
- els gasos produïts per l'acció de la calor sobre el fundent o l'escòria de soldadura, per exemple diòxid de carboni i monòxid de carboni;
- els gasos produïts per l'acció de la calor o la radiació ultraviolada sobre l'atmosfera que envolta l'arc de soldadura, per exemple monòxid nítric, ozó i diòxid de nitrogen;
- els vapors produïts com a resultat de la degradació tèrmica dels revestiments de la superfície durant la soldadura o tall de metalls tractats amb pintura, imprimació, segellador o altres substàncies. Els vapors poden produir-se també com a conseqüència de la degradació del vapor solvent de les operacions de desengreixat.

La Norma EN ISO 10882-2 ofereix una descripció generalitzada dels mètodes de mesura adients per l'avaluació de l'exposició personal als gasos produïts durant la soldadura i processos afins.

## 5 Seguretat i salut en la utilització d'equips de protecció individual

Les informacions sobre la utilització d'equips de protecció individual que es donen a continuació provenen del Reial decret 773/1997, de 30 de maig.

Un equip de protecció individual (EPI) es defineix com qualsevol equip destinat a ser dut o subjectat pel treballador, perquè el protegeixi d'un o diversos riscos que puguin amenaçar-ne la seguretat o la salut, així com qualsevol complement o accessori destinat a tal fi.

### 5.1 Obligacions de l'empresari

Haurà d'estudiar les possibilitats d'adoptar mètodes, mesures i/o procediments d'organització del treball i/o implantar mètodes de protecció col·lectiva, per evitar riscos o limitar-los suficientment, o aminorar els seus efectes sobre els treballadors.

Per als llocs de treball on s'hagi de recórrer a la protecció individual, caldrà precisar els riscos a cobrir, les parts del cos a protegir i els tipus d'EPI necessaris que s'han d'utilitzar, comparant-los posteriorment amb les característiques dels equips disponibles al mercat.

Els EPI es subministraran gratuïtament als treballadors, seran d'ús personal i es vetllarà pel seu correcte ús i manteniment.

El temps d'utilització d'un EPI es determinarà en funció de:

- La gravetat del risc.
- El temps i la freqüència d'exposició al risc.
- Les condicions del lloc de treball.
- Les prestacions de l'EPI.
- Els riscos addicionals derivats de la utilització de l'equip.

### 5.2 Obligacions i drets dels treballadors

Per la seva part els treballadors i/o els seus representants, a més a més de rebre la informació i la formació, de ser consultats i de participar, rebran instruccions i ensinistrament per a la correcta utilització dels EPI i sobre els riscos que aquests cobreixen.

Els EPI s'utilitzaran i cuidaran correctament, informant immediatament sobre qualsevol defecte, anomalia o dany sofert per l'equip que pugui originar una pèrdua de la seva eficàcia protectora.

## 6 Senyalització

Per reduir els riscos als quals les persones poden estar exposades:

- la màquina ha d'estar equipada de mitjans per proporcionar senyals que donin la informació adequada relativa a la seguretat;
- els òrgans d'accionament han de poder ser utilitzats de forma segura, i han d'estar clarament identificats mitjançant marques adequades, sobre o al costat de l'òrgan d'accionament.
- han d'utilitzar-se senyals actives per a senyalar un perill i advertir a les persones per a que prenguin mesures específiques o actuïn d'una forma determinada.
- han d'utilitzar-se senyals passives per advertir en cas de perill, o per proporcionar una informació sobre la ubicació, per exemple, de sortides d'emergència o dispositius de parada d'emergència.

Tota senyal relativa a la seguretat ha de crear-se de forma que el seu significat sigui evident de forma clara i sense ambigüitat per a l'usuari previst.

La informació relativa a la seguretat ha de presentar-se utilitzant mitjans compatibles amb les capacitats dels operadors i/o de les persones exposades. Si és possible, han d'utilitzar-se senyals visuals. Si és probable que persones amb deficiències sensorials, per exemple ceguesa, daltonisme, sordesa, o que precisin mitjans de protecció personals, utilitzin les senyals relatives a la seguretat, per garantir la percepció han de considerar-se de forma especial mitjans addicionals, tals com:

- la utilització de més d'un sentit (vista, oïda, tacte);
- la utilització de codificació múltiple.

Han d'elegir-se i utilitzar-se mitjans addicionals a les senyals visuals, tals com senyals audibles o tàctils, en els casos en que:

- un excés d'altres informacions pugui fer que la senyal no sigui fàcilment perceptible;
- les senyals visuals soles són insuficients degudes a que:
  - l'usuari ha de mirar a qualsevol altra part quan manipula/acciona els comandaments;
  - les persones exposades estan fora de l'abast de la vista de l'operador;
  - les persones exposades no poden veure les senyals d'advertència.

## 6.1 Senyals visuals

Una senyal visual ha de:

- estar situada de forma que quedi dins del camp de visió de la persona;
- presentar una lluminositat i un contrast de color suficients en relació al seu entorn.

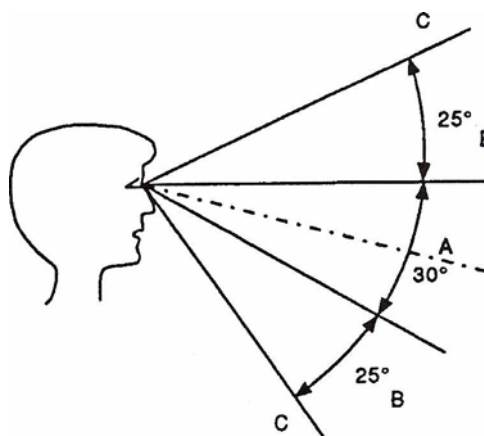
Una il·luminació permanent és normalment suficient per als pilots indicadors i els òrgans d'accionament lluminosos. Per a una major diferenciació i informació addicional i, especialment, per donar una importància complementària, es recomana utilitzar una llum centellejant.

### Camp de visió

Per poder ser detectades fàcilment, les senyals visuals han de ser conformes amb els punts següents:

- les posicions de les senyals i les fonts lluminoses han d'elegir-se de forma que el dispositiu indicador sigui visible des de tots els llocs on hagi de ser vist;
- les senyals actives relacionades amb la seguretat han de col·locar-se de forma que siguin visibles pels operadors des de les posicions de treball, i per les persones exposades, havent de tenir un angle de visibilitat tan ampli com sigui possible;
- els dispositius indicadors que tinguin un angle de visibilitat limitat han de col·locar-se en conseqüència en l'esmentat angle;
- les senyals visuals passives tals com les senyals de seguretat, etiquetes complementàries i marcatges, han de situar-se de forma que les persones que precisin ser informades puguin veure-les sense tenir que desplaçar-se i augmentar així el risc per a ells i/o per a altres.

Les figures 6.1 i 6.2 mostren les zones de camp de visió recomanades i acceptables, als plans horitzontal i vertical.



Zona A: recomanada  
Zona B: acceptable  
Zona C: no apropiada  
Zona D: línia natural (mida de la vista)

Fig 6.1 Zones del camp vertical de visió

Zona A: recomanada  
Zona B: acceptable  
Zona C: no apropiada  
Zona D: línia natural (mida de la vista)

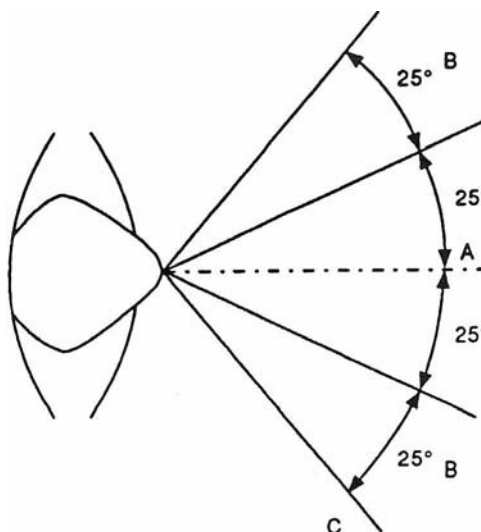


Fig 6.2 Zones del camp horitzontal de visió

## Lluminositat, color i contrast

La lluminositat, el color i el contrast de les senyals visuals han de respectar els requisits següents:

- les senyals de seguretat han de respectar els requisits de lluminositat i de color donades a la ISO 3864;
- per als dispositius indicadors d'emissió, la relació de contrast de lluminositat ha de ser al menys de 6:1;
- la qualitat d'imatge del dispositiu indicador ha de ser bona en totes les condicions d'observació: normals o d'emergència;
- totes les condicions de visibilitat previstes (per exemple en cas d'emergència) han de ser considerades per a garantir una il·luminació suficient dels dispositius indicadors no emissors de llum.

## Símbols gràfics

Els símbols gràfics han de ser simples, clars, diferents i lògics, de forma que siguin fàcilment compresos i interpretats sense cap ambigüitat. Si són aplicables, han d'utilitzar-se els símbols gràfics donats a la ISO 7000 i la CEI 417.

## 6.2 Senyals audibles

Una senyal audible ha d'advertir d'un perill imminent i ha d'indicar el principi i la durada d'una situació perillosa. Si un operador disposa d'un comandament pot intervenir, la senyal ha de continuar al menys fins a que l'operador intervingui.

Una senyal audible ha de:

- tenir un nivell sonor considerablement més elevat que el nivell del soroll ambiental de manera que sigui audible, sense ser excessiu ni penós;
- ser reconeguda fàcilment, especialment en el que fa referència a la durada d'impulsos i l'interval entre els impulsos o els grups d'impulsos, i clarament diferents als de qualsevol altra senyal audible i sorolls ambientals;
- respectar les exigències referents al reconeixement, l'audició, la distinció, la no-ambigüitat descrites en la EN 457.

## 6.3 Senyals tàctils

La informació transmesa pel sentit el tacte a l'operador permetrà reconèixer i diferenciar diversos elements a fi d'actuar sobre les diferents funcions de la màquina, tenint en compte la rugositat, el contorn, la forma i la posició relativa dels elements, independentment dels sentits de la vista i de l'oïda.

Les senyals tàctils es transmeten quan una part del cos humà, per exemple el dit, la mà, el peu, es posi en contacte voluntàriament amb una part de la superfície d'un òrgan d'accionament, per exemple un polsador o una palanca. En algunes condicions, tals com una visibilitat reduïda, pot ser necessari recórrer exclusivament a les senyals tàctils.

El reconeixement i la interpretació d'una senyal tàctil suposa que l'usuari coneix la funció d'aquesta senyal.

## 6.4 Codificació de la informació

### 6.4.1 Codificació de les senyals visuals

#### Utilització dels colors

Els colors han d'elegir-se en funció de la informació que es va a proporcionar. Els colors dels dispositius indicadors i dels òrgans d'accionament han de ser conformes amb la taula 6.1 i la CEI 73. La utilització dels colors per a l'equip elèctric de les màquines ha de ser conforme amb l'apartat 10 de la CEI 204-1. La utilització dels colors de contrast ha de ser conforme amb la ISO 3864. En el cas dels dispositius de parada d'emergència, la utilització de colors de contrast es farà en conformitat amb l'apartat 4.4.3 de la ISO/CEI 13850.

Color	Significat		
	Seguretat de les persones	Condició de la màquina o del procés	Estat de l'equip
Vermell	Perill/prohibició	Emergència	Sense significat general
Groc	Atenció	Anormal	
Verd	Segur	Normal	
Blau	Obligatori		
Blanc, gris, negre	Sense significat especial assignat		



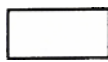
Taula 6.1 Significat dels colors. Principis generals

### Codificació per mitjans complementaris al color

Si la codificació mitjançant el color s'utilitza per a una aplicació relacionada amb la seguretat, ha de completar-se amb altres mitjans de codificació.

El significat d'un codi complementari ha de ser evident per als usuaris als quals es destina.

La taula 6.2 dóna exemples de codificació de senyals de seguretat mitjançant el color, utilitzant la forma com mitjans complementaris de codificació.

Forma Color			
Vermell	Prohibició		Equip contra incendis
Groc		Advertència Precaució Perill possible	
Verd	Segur	Normal	Sense perill Material de rescat
Blau	Obligatori		Informació o instruccions

Taula 6.2 Exemples de codificació de signes de seguretat

### 6.4.2 Codificació de les senyals audibles

La codificació de les senyals audibles d'informació relacionada amb la seguretat o altres, mitjançant la intensitat, la durada, el timbre, la freqüència de repetició de les pulsacions, un so de dos tons, etc. per indicar condicions tals com perill, atenció, tot correcte i advertències ha de ser de conformitat amb la taula 6.3.



Categoria de missatge	Senyal sonora
<b>PERILL</b> Acció urgent de salvament o protecció	Característiques disponibles <sup>1)</sup> - modulació de sons - amplificació brusca de sons - alternança d'alçada de to per a accions obligatòries o prioritàries (dos o tres passos de freqüència)
<b>ATENCIÓ</b> Advertència destinada a acomplir l'acció indicada en cas necessari	Sèrie d'interval·ls de to constant, el més curt de 0,3 s Com a mínim; no més de dos temps diferents per als interval·ls d'una sèrie sent preferentment el primer llarg. Si tots els interval·ls són iguals, la freqüència de repetició ha de ser de 0,4 Hz com a mínim
<b>TOT VA BÉ</b> Seguretat	So continu, al menys 30 s, d'alçada constant
<b>INFORMACIÓ</b> Informació "per megafonia"	Carilló de dos tons, alt baix, sense repetició (seguit d'instrucció o missatge)

1) La urgència pot provocar-se mitjançant un ritme ràpid o dissonàncies.

Taula 6.3 Senyals audibles

## 6.5 Senyals de seguretat

Les senyals de seguretat han de ser visibles en les condicions de funcionament previstes.

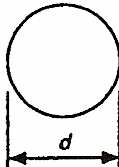

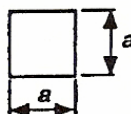
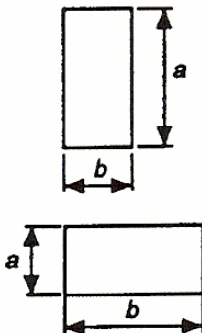
La informació de seguretat de tipus general tal com prohibició, obligació i advertència ha de donar-se mitjançant la forma i el color de la senyal.

Les senyals representades a les figures 6.3 a 6.7 han d'utilitzar-se quan siguin aplicables. Aquestes senyals es donen en la Directiva del consell 92/58/CEE sobre les exigències mínimes referents a les senyals de seguretat i/o de salut al lloc de treball. Es crida a l'atenció sobre les exigències mínimes donades als annexes I a IX d'aquesta directiva. Si són necessaris símbols addicionals, el disseny ha de seguir les regles donades en la ISO 3864.

La taula 6.4 estableix les grandàries mínimes recomanades de les senyals de seguretat en funció de la distància de visió, per a unes bones condicions de visibilitat. En cas de que s'utilitzin les senyals lluminoses, les grandàries podrien reduir-se. Si les condicions de visibilitat no són les adequades en els casos en que la senyal pugui ser necessària, convé en conseqüència augmentar la mida de la senyal.

### Marcatges complementaris

Quan les senyals de seguretat no indiquin la totalitat del missatge necessari per a la seguretat, han d'utilitzar-se marcatges complementaris que donin informació addicional en forma de text i han d'utilitzar-se únicament associades al símbol de seguretat. Han de ser de forma rectangular i de color blanc, o bé del mateix color que la senyal de seguretat. Els marcatges complementaris blancs o grocs poden utilitzar-se amb una vora.

Distància d'observació m	Senyal de prohibició i senyal d'acció obligatòria	Senyal d'avertència	Senyal d'informació	
				
	<b>d mm</b>	<b>l mm</b>	<b>a x a mm</b>	<b>a x b mm</b>
0,5	25	25	50 x 50	50 x 100 o 100 x 50
1		50		
2		100		
3	100	200	100 x 100	100 x 200 o 200 x 100
4				
5	200	400	200 x 200	200 x 400 o 400 x 200
6				
7				
8				
10	400	600	300 x 300	300 x 600 o 600 x 300
12				
14		900	450 x 450	450 x 900 o 900 x 450
16				
18	—			
20				
25				

Taula 6.4 Relació de les dimensions mínimes i la distància d'observació de les senyals de seguretat

### 6.5.1 Senyals de prohibició

Característiques intrínseques:

- forma rodona;
- color negre sobre fons blanc, vora i diagonal en vermell.



Fig 6.3 Senyals de prohibició

## 6.5.2 Senyals d'advertència

Característiques intrínseques:

- forma triangular;
- color negre sobre fons groc i vora negra.

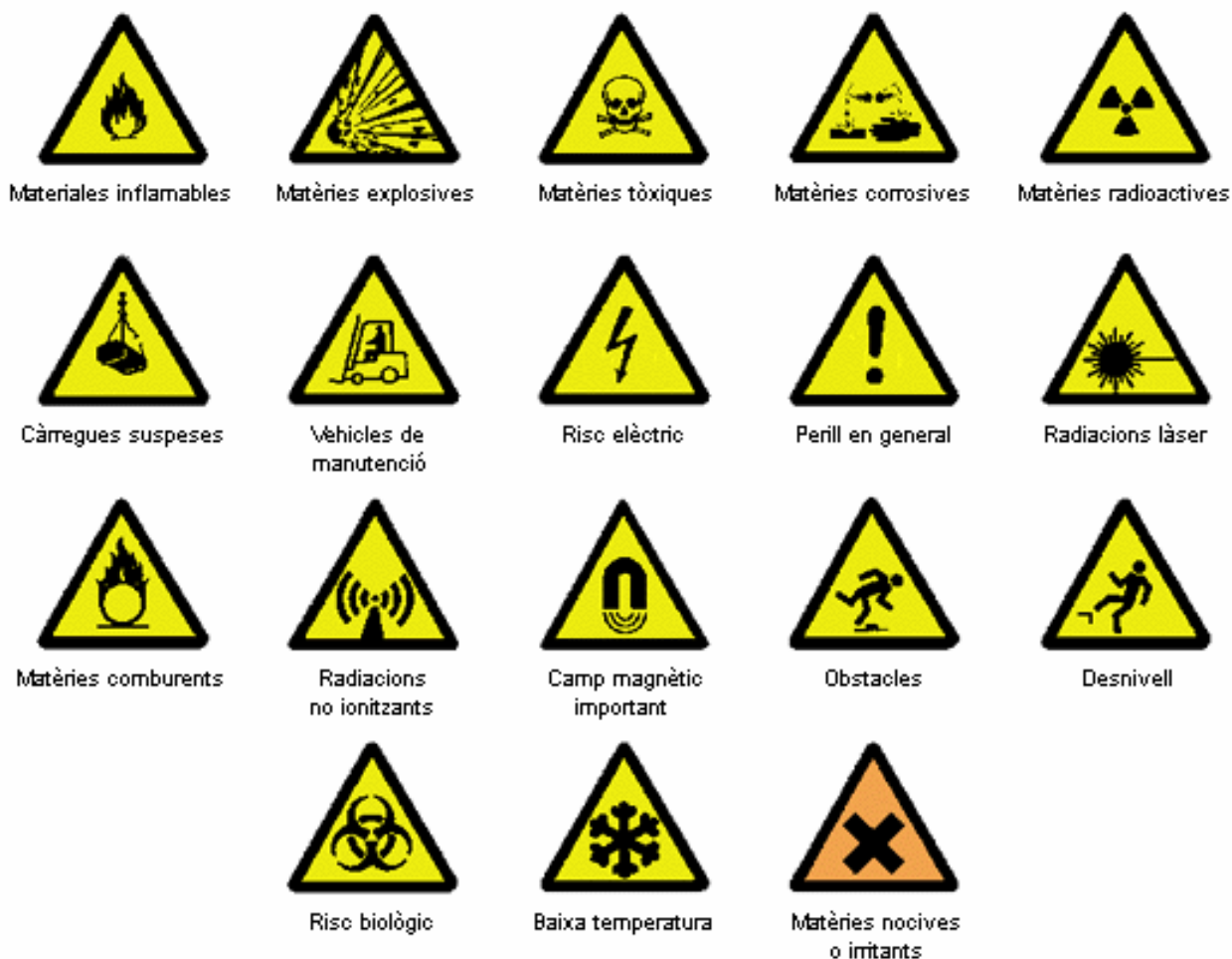


Fig 6.4 Senyals d'advertència

### 6.5.3 Senyals d'obligació

Característiques intrínseques:

- forma rodona;
- color blanc sobre fons blau.

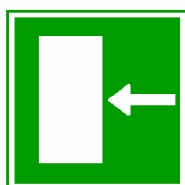
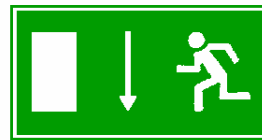
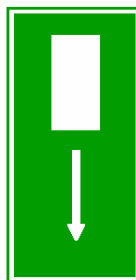


Fig 6.5 Senyals d'obligació

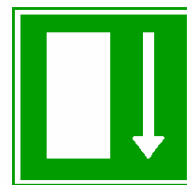
## 6.5.4 Senyals de sortida d'emergència o de primers auxilis

Característiques intrínseques:

- forma rectangular o quadrada;
- color blanc sobre fons verd.



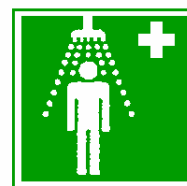
Sortida d'emergència  
Via d'escapament



Primers auxilis



Llitera



Dutxa de seguretat



Esbandida d'ulls



Telèfon d'emergència i primers auxilis



Direcció a seguir  
(senyal d'informació complementària)

Fig 6.6 Senyals de sortida d'emergència o de primers auxilis

### 6.5.5 Senyals de lluita contra incendis

Característiques intrínseques:

- forma rectangular o quadrada;
- color blanc sobre fons vermell.



*Fig 6.7 Senyals de lluita contra incendis*

## 7. Disseny ergonòmic del treballs i les tasques

Els sistemes de producció requereixen una productivitat i una qualitat elevades, així com garantir la salut i la seguretat dels operadors. Aquests objectius poden assolir-se mitjançant l'ús simultani de una bona tecnologia i dels millor sistemes de treball. Els millors sistemes de treball són aquells que utilitzen a persones qualificades, que realitzen treballs ben dissenyats composts de tasques dissenyades adequadament.

Els principis ergonòmics tenen com a objecte assegurar la seguretat i la salut dels operadors. En les condicions potencials d'ús, el malestar, la fatiga i la tensió psicològica als que s'enfronta l'operador han de reduir-se al mínim possible.

Durant el treball, l'individu està influenciat per factors biològics, psicològics i socials. Els efectes psicològics consisteixen, per exemple, en la fatiga, la monotonia, així com en una vigilància i una satisfacció reduïdes. Les influències socials provenen del grup de treball, de l'organització i de la societat. És necessari tenir en compte aquests tres factors en el disseny del treball.

L'aplicació dels principis ergonòmics al disseny de les tasques té com a objectiu minimitzar la incomoditat, la fatiga i altres efectes perjudicials als que l'operador està

subjecte i, d'aquesta manera, contribuir al funcionament òptim del sistema de treball reduint, amb això, els riscos d'efectes negatius per a la salut. Per tant, un disseny correcte segueix els principis ergonòmics, començant amb l'especificació de les funcions del sistema, anticipa com es produirà la interacció entre l'operador potencial i les màquines i altres equips de treball. De la mateixa manera, els principis ergonòmics també han de ser presents en el disseny de les màquines a utilitzar.

## 7.1. Disseny correcte del treball

L'objectiu d'un bon disseny del treball és crear activitats que permetin als treballadors efectuar la seva tasca amb una elevada productivitat i qualitat, desenvolupar les seves capacitats i gaudir d'un alt grau de benestar.

Els treballs ben dissenyats es caracteritzen, per exemple, per:

- un bon ambient físic;
- una raonable variació en les activitats;
- la possibilitat d'aprendre i desenvolupar-se al treball;
- la possibilitat de prendre decisions al seu treball;
- la possibilitat de mantenir contacte amb altres persones;
- ser vist com a part valuosa d'un tot;
- ser considerat important també a llarg termini.

Els signes que indiquen condicions físiques i psíquiques inadequades poden ser:

- una excessiva rotació del personal;
- efectes negatius per la salut, com baixes per malaltia freqüents o de llarga durada, així com incapacitats permanents per raons de salut;
- efectes com accidents i malalties de treball;
- baixa qualitat de la producció;

Per tant, és important identificar els ambients de treball que:

- redueixen la productivitat;
- augmenten els errors;
- redueixen el nivell de seguretat i salut dels treballadors.

Aquests ambients de treball es poden evitar mitjançant un disseny del treball correcte.

El disseny de treball és un concepte ampli que comprèn diversos punts de vista per millorar el treball. A continuació es descriuen breument els més coneguts:

- **la rotació, l'ampliació i el enriquiment del treball**, que se desenvolupen per pal·liar les deficiències de les tasques molt fragmentades i repetitives.



- **el treball en grup i el treball en equip**, que es desenvolupen, a més dels ja esmentats anteriorment, per ampliar l'ús dels recursos humans i per incrementar l'eficiència de l'organització.
- **el disseny participatiu**, que té com a objectiu l'ús dels coneixements de l'usuari en la planificació de la disposició del lloc de treball, així com dels sistemes de treball i del disseny de treball.
- **desenvolupament de la gestió**, que té com a objectiu ampliar l'horitzó dels treballs individuals per al desenvolupament d'una cultura de l'organització i de les estratègies de producció.

Els conceptes relatius al disseny de treball han aparegut en diferents moments, en funció del desenvolupament industrial i, per això, en molts casos, se solapen entre ells. Igualment, també es coneixen amb diferents noms.

## 7.2 Principis de disseny de les tasques

El disseny de les tasques s'ocupa de la anàlisi i de l'especificació de funcions, així com de la seva distribució a la màquina o a l'operador, com a part del procés de disseny, i té com a objectiu contribuir al funcionament òptim dels sistemes de treball. Per tant, un disseny correcte segueix els principis ergonòmics i presta especial atenció al context d'ús i a la població d'operadors potencials. Aquest objectiu, ha d'assolir-se mitjançant la conformitat amb les característiques de les tasques de l'operador ben dissenyades que es proporcionen a l'apartat 7.2.1, seguint la metodologia per al disseny de la tasca donada a l'apartat 7.2.2 i mitjançant l'avaluació del disseny de les esmentades tasques, conforme a l'indicat en l'apartat 7.2.3.

### 7.2.1 Característiques de les tasques de l'operador ben dissenyades

En el disseny de les tasques, s'ha d'assegurar la satisfacció de les següents característiques ergonòmiques de les tasques. Aquestes característiques tenen en compte les diferències i particularitats dinàmiques de la població d'operadors potencials, havent d'aplicar-se mitjançant el disseny de les màquines i les tasques en interacció.

D'aquesta manera, en el procés de disseny, s'ha de:

- identificar l'experiència, capacitats i habilitats de la població d'operadors existent o prevista. Això inclou els nivells de formació general i professional, així com els coneixements adquirits en altres situacions de treball similars. És convenient tenir en compte que els nivells de formació i coneixement varien segons la població d'operadors i evolucionen amb el temps. Per tant, és convenient, per exemple, que els requisits de velocitat i de complexitat i la informació sobre el desenvolupament de les tasques s'adaptin a tots els usuaris potencials.
- assegurar que les tasques a realitzar siguin identificables com a unitats de treball completes i significatives, amb un principi i un final clarament definits, més que com a fragments aïllats de les tasques esmentades. Per això és convenient que

cada tasca abasti en particular no solament els components d'execució, sinó també els components de preparació (per exemple, planificació) i d'avaluació (per exemple, inspecció, control).

- assegurar que les tasques desenvolupades siguin identificables com a contribució significativa al resultat total del sistema de treball. És convenient que l'operador pugui comprendre com i fins a quin punt l'execució de la tasca i el seu resultat afectaran al sistema de treball en el seu conjunt i als seus resultats. Per això, s'ha d'evitar una fragmentació innecessària del procés de treball que doni lloc a tasques de l'operador molt limitades.
- preveure l'aplicació d'una varietat apropiada de habilitats, capacitats i activitats, i, en particular, proporcionar una combinació apropiada dels següents tipus de comportament:
  - comportament basat en l'habilitat: que consisteix en una reacció conscient o inconscient, simple o immediata, a les indicacions proporcionades pel procés de treball.
  - comportament basat en les regles: que permet a l'operador exercir un control sobre el procés de treball aplicant regles algorítmiques bàsiques (per exemple, decisions simples del tipus "sí – llavors").
  - comportament basat en el coneixement: que requereix de l'operador desenvolupar i mantenir un conjunt complet de coneixements sobre les interrelacions del procés, amb l'objectiu de diagnosticar els estats i errades del sistema, així com per desenvolupar solucions i executar les accions adequades.
- proporcionar a l'operador un grau adequat de llibertat i autonomia. És convenient que l'operador pugui elegir entre diferents formes d'executar les tasques, així com determinar la prioritat, el ritme i el procediment d'elles. S'han d'evitar les seqüències, els ritmes i els mètodes de treball establerts de manera rígida.
- Preveure un retorn suficient d'informació sobre el desenvolupament de la tasca intel·ligible per a l'operador. La informació sobre el desenvolupament de la tasca ha d'estar disponible, permetent a l'operador verificar si s'assoleixen els objectius i si el desenvolupament de la tasca és l'adequat. Això inclou també informació sobre les errades en l'execució i sobre les alternatives adequades.
- proporcionar oportunitats per exercir i desenvolupar les habilitats i capacitats existents, així com per adquirir noves. Això es podria aconseguir mitjançant la previsió de diferents formes d'executar la tasca, així com d'un grau d'autonomia i de varietat suficient, associat a un retorn adequat d'informació respecte de l'execució de les tasques. Això permet a l'operador elegir el mode d'operació més adequat a l'estat actual dels seus coneixements i tractar de guanyar experiència en les diferents maneres d'executar la tasca, preferentment combinant diferents tipus de comportament.

Per a les tasques de seguiment i de control, en especial en sistemes molt automatitzats, l'operador necessita poder adquirir la competència que li permeti controlar el procés i fer-se amb una imatge clara de la seva estructura i interrelacions. Això és de particular importància en situacions d'emergència.

- evitar tota sobrecàrrega o insuficiència de càrrega de treball de l'operador, que pugui donar lloc a una innecessària o excessiva tensió o fatiga, o a errors. La freqüència, la durada i la intensitat de les activitats perceptives, cognitives i matius han de establir-se de manera que evitin aquestes conseqüències. La sobrecàrrega o insuficiència de càrrega de treball no han de determinar-se únicament per condicions normals, sinó també per a condicions anormals (per exemple, per a les situacions més desfavorables). Això és particularment important per a tasques de seguiment i control, especialment en sistemes molt automatitzats.

La sobrecàrrega i la insuficiència de càrrega de treball varien d'un individu a un altre i evolucionen amb el temps. Per tant, és necessari preveure els mitjans que permetin l'adaptació a les diferències individuals, a les etapes de desenvolupament i als estats de formació.

- evitar la repetibilitat, que pot conduir a un desequilibri de la tensió al treball i, d'aquesta manera, a trastorns físics, així com a sensacions de monotonia, saturació, avorriment o insatisfacció.

És convenient, per tant, evitar els cicles d'activitat de curta durada. Ha d'encarregar-se a l'operador una adequada varietat de tasques i activitats. Si no es poden evitar les tasques repetitives:

- el temps d'execució no ha de determinar-se únicament a base de temps mitjans mesurats o estimats en condicions normals,
  - han de permetre's desviacions respecte a les condicions normals,
  - s'han d'evitar els cicles de molt curta durada,
  - l'operador ha de tenir la possibilitat de treballar al seu propi ritme, abans que a un predeterminat,
  - s'han d'evitar els treballs sobre objectes en moviment.
- evitar el treball en solitari, sense possibilitats de contactes socials i funcionals per a l'operador. Quan es defineix l'espai de treball, la col·locació i les funcions de les màquines i altres equips de treball, han de tenir-se en compte les línies de visió, els nivells de soroll, les distàncies entre llocs de treball i l'autonomia al lloc de treball.

Aquestes característiques de les tasques de l'operador ben dissenyades no han de veure's compromeses pel disseny de les màquines. Tanmateix, tenint en compte la possibilitat de l'aplicació i l'estat de l'art, pot que no sigui possible satisfer completament tots els objectius. En aquest cas, les màquines i les tasques de l'operador s'han de dissenyar i construir, en tant sigui possible, d'acord amb aquests objectius.

## 7.2.2 Metodologia del disseny de la tasca en relació amb el disseny de les màquines

El disseny de les tasques en relació amb el disseny de les màquines es pot descriure

com a un procés, que inclou les següents etapes:

### **Establiment dels objectius de disseny**

En aquesta etapa, els objectius del sistema de treball s'han d'especificar juntament amb els requisits de funcionament i els criteris d'avaluació. Aquesta etapa del procés de disseny de les tasques s'han de dur a terme, igualment, quan es programin canvis de menor entitat al sistema de treball existent.

Així, s'ha de:

- reunir informació sobre sistemes similars o comparables, per exemple, documents de planificació, especificacions del sistema, documents d'assaig i avaluació;
- establir els objectius generals del sistema de treball en relació amb els requisits d'execució, tant tècnics com humans;
- especificar i documentar, sobre la base d'aquests objectius, les especificacions de disseny considerant els següents elements:
  - objectius específics del sistema;
  - qualsevol dada d'entrada requerit;
  - qualsevol dada de sortida requerit;
  - qualsevol dada de sortida no desitjat;
  - capacitats i requisits de comportament del sistema;
  - factors mediambientals que puguin afectar al sistema;
  - factors mediambientals que puguin veure's afectats pel sistema;
  - restriccions sobre el comportament del sistema;
  - restriccions relatives als riscos i a la seguretat;
  - nombre qualificació de les persones emprades en el sistema;
  - tipus de formació necessari;
  - condicions de treball de l'operador.
- sobre la base d'aquestes especificacions de disseny, establir els requisits generals, relatius, per exemple, al seu comportament, fiabilitat, utilitzabilitat, seguretat i possibilitat de manteniment. Aquests requisits han de classificar-se segons la seva importància relativa i utilitzar-se com a criteris per avaluar les alternatives de disseny en etapes posteriors i per assegurar l'adequació del disseny.

### **Anàlisi de funcions**

En aquesta etapa, s'ha d'efectuar una anàlisi de les funcions i subfuncions requerides per satisfer els objectius de disseny, així com especificar les funcions resultants juntament amb els seus requisits d'execució.

Per a tal fi, s'ha de:

- identificar totes les funcions i subfuncions a satisfer, sobre la base dels objectius generals i de les especificacions de disseny, i definir-les en conformitat amb la seva jerarquia i a les seves relacions funcionals.
- especificar totes les funcions i subfuncions, així com els seus corresponents requisits d'execució.
- avaluar l'especificació de funcions responnent a les següents preguntes
  - és necessària cadascuna de les funcions?
  - és possible combinar les funcions?
  - estan disposades les funcions en la seqüència adequada o és necessari reordenar-les?
  - quin tipus de riscos estan associats a aquestes funcions?
  - poden millorar-se les funcions?

### **Distribució de funcions**

En aquesta etapa, les funcions s'han d'assignar a l'operador o a la màquina o, si s'escau, a ambdós. Aquesta atribució de funcions s'ha de realitzar com a part de l'esquema de solucions de disseny establert per a les tasques, les màquines i les seves interaccions. Han de tenir-se en compte durant aquest procés les especificacions del sistema i la varietat de possibilitats d'actuació dels operadors i de les màquines, per exemple, els límits de sensibilitat, les capacitats de processar la informació, la força a desenvolupar i el control de moviments.

Així, s'ha de:

- descriure i avaluar els diferents mitjans de distribució de cada funció. Això ha d'efectuar-se sobre la base de les especificacions de disseny i de les especificacions de les funcions juntament als corresponents requisits d'execució.
- establir si existeixen funcions que donin lloc a tasques que estiguin per sobre o pròximes als límits de l'operador. Aquestes funcions no s'han d'assignar a l'operador humà. Podrien donar lloc a danys per l'operador i a riscos innecessaris. Ha d'assegurar-se que cap d'aquests límits d'execució és sobrepassat. Pot verificar-lo mitjançant la comprovació de les dades antropomètriques, biomecàniques i psicofísiques disponibles.
- tenir en compte les diferències d'adequació dels operadors i de les màquines a funcions específiques. Es pot procedir d'aquesta forma mitjançant la consulta d'una llista que indiqui la superioritat relativa de l'home sobre la màquina
- tenir en compte les característiques de les tasques de l'operador ben dissenyades. Comprovant, en particular, si la distribució de funcions preveu una varietat de tasques complementàries que puguin formar un conjunt significatiu. Si no existeix aquesta varietat de tasques, és necessari procedir a una nova distribució de funcions a l'operador, fins i tot si per a aquestes últimes la màquina presenta una superioritat relativa.
- preveure, si és adequat, una distribució dinàmica de funcions

- esquematitzar i avaluar les solucions de disseny alternatives i elegir la que millor satisfaci les especificacions i els criteris de desenvolupament posterior. L'elecció de la solució definitiva s'ha de fonamentar en l'anàlisi dels avantatges i inconvenients de cadascuna de elles.
- En el procés de distribució, ha de cuidar-se el que les funcions es puguin també satisfer en condicions anormals i d'emergència. Si és necessari, s'han de prendre disposicions específiques per als procediments d'emergència.

### **Especificació de les tasques**

En aquesta etapa, les tasques de l'operador resultants de l'assignació de funcions a aquest, s'han d'especificar amb detall. Al mateix temps, s'han d'especificar les solucions tècniques corresponents, incloent la interfície home-màquina. L'objectiu de l'especificació de la tasca és determinar quin tipus de tasques i subtasques ha d'executar l'operador, així com reunir informació sobre els requisits relatius a la seva qualificació, distribució prevista de la càrrega de treball i possibles riscos inherents.

Per tot això, s'ha de:

- reunir informació sobre situacions comparables ja existents (tasques i interfícies home-màquina) i tenir en compte, d'acord amb una avaluació ergonòmica, solucions de disseny de tasques, transferibles o no utilitzables.
- especificar què ha de fer l'operador, com ha de fer-ho, amb qui, quan i el tipus d'equip de treball que ha d'emprar per manejar la màquina,
- descriure i avaluar els components de la càrrega de treball associada a l'execució de la tasca, per exemple, força a exercir, freqüència, ritme i seqüència de les tasques, dificultat del seu aprenentatge, dificultat i riscos associats a la seva execució.

Els resultats d'una especificació de les tasques han de verificar que s'han satisfet les característiques de les tasques de l'operador ben dissenyades, tal com s'indiquen a l'apartat 7.2.1. L'especificació ha de proporcionar una imatge clara de la càrrega de treball i dels riscos que cada tasca imposa a l'operador, així com permetre una adequada distribució de les tasques als operadors individuals.

### **Distribució de les tasques als operadors**

En aquesta etapa, s'ha d'especificar el nombre d'operadors requerits i, si es necessita més d'un, les tasques assignades a cadascun d'ells. En aquest procés, han de tenir-se en compte les característiques de les tasques ben dissenyades i la càrrega de treball total per a l'operador.

Per a tal finalitat, s'ha de:

- especificar el nombre d'operadors necessaris per a un funcionament segur i eficient;
- distribuir la càrrega de treball equitativament entre els operadors, i
- velar per a que es satisfacin les característiques de les tasques de l'operador ben dissenyades, indicades a l'apartat 7.2.1.

No és suficient el limitar els diferents elements a tenir en compte a les condicions d'operació normals; també han de ser considerades les situacions inesperades, transitòries i d'emergència.

### 7.2.3 Avaluació del disseny de les tasques

El propòsit de l'avaluació de les tasques, a realitzar en interacció amb les màquines i altres equips, és determinar fins a quin punt el disseny satisfà els objectius i requisits establerts.

L'avaluació del disseny de les tasques ha de realitzar-se en tres fases diferents:

- **Durant el procés de disseny:** és necessària una avaluació contínua durant el procés de disseny, tal com es descriu en 7.2.2, per assegurar que les solucions desfavorables s'exclouen el més aviat possible. L'avaluació mostrarà fins a quin punt s'han assolit els objectius de disseny i ajudarà a posar de manifest si és necessari retrocedir en el procés de disseny i elaborar millors solucions. Durant el procés de disseny és igualment important avaluar els dissenys mitjançant l'ús de models i simulacions.
- **Durant la seva posada en pràctica:** és necessari una avaluació durant els cicles de prova i altres assaigs, per exemple, abans que els operadors hagin de treballar amb la màquina a temps complet, per avaluar la solució de disseny com un tot i per efectuar els ajustos i correccions necessaris.
- **En les condicions d'operació:** l'avaluació final de les tasques executades en condicions operatives permet obtenir un retorn d'informació per a futurs dissenys així com per establir la conformitat amb aquesta norma i amb altres normes que poguessin ser d'aplicació.

El procediment per a aquestes avaluacions consisteix en:

- l'especificació dels criteris d'avaluació;
- la determinació del mètode d'avaluació; i
- l'avaluació de la satisfacció o no d'aquests criteris.